



PFC Ingeniería Industrial Universidad Carlos III de Madrid

DISEÑO del PUESTO de CONDUCCIÓN de un AUTOMÓVIL basado en la  
ERGONOMÍA

Alumno: Diego Arjona Ballesteros  
Tutor: José Luis San Román García  
Titulación: Ingeniería Industrial  
Especialidad: Mecánica de Máquinas y Estructuras  
Fecha: 13/mayo/2014





*este proyecto se ha podido concluir  
gracias a María, a Pablo y a Candela  
gracias a mis padres y hermanos  
y por supuesto, gracias a Dios.*





# ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN.....	20
2. OBJETIVOS.....	27
3. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE .....	29
4. ANTROPOMETRÍA .....	39
4.1. INTRODUCCIÓN A LA ANTROPOMETRÍA.....	39
4.2. ERGONOMÍA BASADA EN LA ANTROPOMETRÍA.....	46
4.2.1. VARIABILIDAD DEL SER HUMANO .....	46
4.2.2. EMPLEO DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS.....	47
4.2.3. ESTADÍSTICA: ANÁLISIS DE DATOS ANTROPOMÉTRICOS .....	47
4.2.4. PRINCIPIOS ANTROPOMÉTRICOS A CONSIDERAR.....	51
4.2.5. DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS .....	52
4.3. APLICACIÓN AL DISEÑO .....	54
4.3.1. APLICACIÓN AL DISEÑO Y PROYECTO DE MÁQUINAS.....	54
4.3.2. APLICACIÓN AL DISEÑO Y PROYECTO DE PUESTOS DE TRABAJO ...	55
4.3.3. APLICACIÓN AL DISEÑO Y PROYECTO DE HERRAMIENTAS MANUALES .....	58
4.3.4. APLICACIÓN AL DISEÑO Y PROYECTO DE MOBILIARIO .....	58
4.4. DATOS ANTROPOMÉTRICOS .....	61
4.4.1. INTRODUCCIÓN Y ORIGEN DE LOS DATOS .....	61
4.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN Y DE LA MUESTRA OBTENIDA .....	62
4.4.3. DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS CONSIDERADAS.....	64
4.4.4. DATOS ANTROPOMÉTRICOS DE LA POBLACIÓN LABORAL ESPAÑOLA .....	68
4.4.5. COMPARACIÓN ANTROPOMÉTRICA DE POBLACIONES .....	75
5. ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL CUERPO HUMANO .....	79

5.1. INTRODUCCIÓN A LA ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL CUERPO HUMANO.....	79
5.2. HUESOS Y ARTICULACIONES .....	85
5.2.1. ANATOMÍA.....	85
5.2.2. FISIOLOGÍA.....	87
5.2.3. PATOLOGÍA .....	88
5.3. TENDONES.....	89
5.3.1. ANATOMÍA.....	89
5.3.2. FISIOLOGÍA.....	91
5.3.3. PATOLOGÍA .....	91
5.4. MÚSCULOS.....	93
5.4.1. ANATOMÍA.....	93
5.4.2. FISIOLOGÍA.....	95
5.4.3. FACTORES DE RIESGO .....	96
5.4.4. PATOLOGÍA .....	98
5.5. COLUMNA VERTEBRAL .....	101
5.5.1. ANATOMÍA.....	101
5.5.2. FISIOLOGÍA.....	105
5.5.3. FACTORES DE RIESGO .....	106
5.5.4. PATOLOGÍA .....	111
5.6. DISCOS INTERVERTEBRALES .....	112
5.6.1. ANATOMÍA.....	112
5.6.2. FISIOLOGÍA.....	114
5.6.3. FACTORES DE RIESGO .....	115
5.6.4. PATOLOGÍA .....	116
5.7. REGIÓN DE LA COLUMNA LUMBAR .....	119
5.7.1. ANATOMÍA.....	119



5.7.2. FISIOLOGÍA.....	121
5.7.3. FACTORES DE RIESGO .....	121
5.7.4. PATOLOGÍA.....	125
5.8. REGIÓN DE LA COLUMNA DORSAL .....	128
5.8.1. ANATOMÍA.....	128
5.8.2. FISIOLOGÍA.....	129
5.8.3. FACTORES DE RIESGO .....	129
5.8.4. PATOLOGÍA .....	129
5.9. REGIÓN DE LA COLUMNA CERVICAL.....	131
5.9.1. ANATOMÍA.....	131
5.9.2. FISIOLOGÍA.....	133
5.9.3. FACTORES DE RIESGO .....	133
5.9.4. PATOLOGÍA .....	137
5.10. HOMBRO.....	140
5.10.1. ANATOMÍA.....	140
5.10.2. FISIOLOGÍA.....	142
5.10.3. FACTORES DE RIESGO .....	142
5.10.4. PATOLOGÍA.....	144
5.11. CODO .....	147
5.11.1. ANATOMÍA.....	147
5.11.2. FISIOLOGÍA.....	149
5.11.3. FACTORES DE RIESGO .....	149
5.11.4. PATOLOGÍA.....	150
5.12. ANTEBRAZO, MUÑECA Y MANO .....	152
5.12.1. ANATOMÍA.....	152
5.12.2. FISIOLOGÍA.....	156



5.12.3. FACTORES DE RIESGO .....	156
5.12.4. PATOLOGÍA.....	159
5.13. CADERA Y RODILLA .....	164
5.13.1. ANATOMÍA.....	164
5.13.2. FISIOLOGÍA.....	170
5.13.3. FACTORES DE RIESGO .....	171
5.13.4. PATOLOGÍA.....	173
5.14. PIERNA, TOBILLO Y PIE .....	178
5.14.1. ANATOMÍA.....	178
5.14.2. FISIOLOGÍA.....	182
5.14.3. FACTORES DE RIESGO .....	184
5.14.4. PATOLOGÍA.....	187
6. BIOMECÁNICA DEL CUERPO HUMANO.....	191
6.1. INTRODUCCIÓN A LA BIOMECÁNICA.....	191
6.2. COLUMNA LUMBAR.....	193
6.2.1. INTRODUCCIÓN .....	193
6.2.2. MOVIMIENTO SEGMENTARIO DE LA COLUMNA .....	193
6.2.3. CARGAS COMPARATIVAS SOBRE LA COLUMNA LUMBAR DURANTE LA SEDESTACIÓN.....	194
6.3. COLUMNA CERVICAL .....	196
6.3.1. INTRODUCCIÓN .....	196
6.3.2. RANGO DE MOVIMIENTO CERVICAL .....	196
6.4. HOMBRO.....	198
6.4.1. INTRODUCCIÓN .....	198
6.4.2. RANGO DE MOVIMIENTO .....	200
6.4.3. LA ROTACIÓN DEL BRAZO SOBRE SU EJE LONGITUDINAL .....	203
6.4.4. FLEXOEXTENSIÓN HORIZONTAL.....	205



6.4.5. MOVIMIENTO DE CIRCUNDUCCIÓN .....	206
6.5. CODO .....	209
6.5.1. INTRODUCCIÓN .....	209
6.5.2. RANGO DE MOVIMIENTO .....	210
6.5.3. FUNCIÓN DE SEPARACIÓN Y APROXIMACIÓN DE LA MANO .....	210
6.5.4. LAS LIMITACIONES DE LA FLEXOEXTENSIÓN .....	211
6.5.5. LA AMPLITUD DE LOS MOVIMIENTOS DEL CODO .....	213
6.5.6. EFICACIA DE LOS GRUPOS FLEXOR Y EXTENSOR .....	215
6.5.7. LA PRONOSUPINACIÓN .....	217
6.6. MUÑECA Y MANO .....	222
6.6.1. INTRODUCCIÓN .....	222
6.6.2. MOVIMIENTO DE LA MUÑECA.....	223
6.6.2.1. FLEXIÓN Y EXTENSIÓN .....	224
6.6.2.2. DESVIACIÓN RADIAL Y CUBITAL.....	224
6.6.2.3. PRONACIÓN Y SUPINACIÓN DEL ANTEBRAZO .....	224
6.6.2.4. MOVIMIENTO FUNCIONAL DE LA MUÑECA .....	224
6.6.2.5. AMPLITUD DE MOVIMIENTOS DE LA MUÑECA .....	226
6.6.2.6. MOVIMIENTO DE CIRCUNDUCCIÓN DE LA MUÑECA.....	229
6.6.3. DEDOS .....	231
6.6.3.1. MOVIMIENTO DE LOS DEDOS.....	232
6.6.3.2. AMPLITUD DE MOVIMIENTO DE LAS ARTICULACIONES METACARPOFALÁNGICAS DE LOS DEDOS DE LA MANO .....	232
6.6.3.3. AMPLITUD DE MOVIMIENTO DE LAS ARTICULACIONES INTERFALÁNGICAS DE LOS DEDOS DE LA MANO .....	234
6.6.4. PULGAR.....	237
6.6.4.1. LA OPOSICIÓN DEL PULGAR.....	239
6.6.5. TIPOS DE PRENSIÓN .....	242

6.6.5.1. PRESAS O PINZAS DIGITALES BIDIGITALES TERMINALES	245
6.6.5.2. PRESAS O PINZAS DIGITALES BIDIGITALES SUBTERMINALES	245
6.6.5.3. PRESAS O PINZAS DIGITALES BIDIGITALES SUBTERMINOLATERALES	246
6.6.5.4. PRESAS O PINZAS DIGITALES BIDIGITALES INTERDIGITAL LATEROLATERAL	247
6.6.5.5. PRESAS O PINZAS DIGITALES PLURIDIGITALES TRIDIGITALES	247
6.6.5.6. PRESAS O PINZAS DIGITALES PLURIDIGITALES TETRADIGITALES	249
6.6.5.7. PRESAS O PINZAS DIGITALES PLURIDIGITALES PENTADIGITALES	250
6.6.5.8. PRESAS O PINZAS PALMAR DIGITOPALMAR	252
6.6.5.9. PRESAS O PINZAS PALMAR CON LA TOTALIDAD DE LA PALMA	253
6.6.5.10. PRESAS O PINZAS CENTRADAS	255
6.6.5.11. PRESAS CON GRAVEDAD	255
6.6.5.12. PRESAS CON ACCIÓN	257
6.6.6. LAS PERCUSIONES, EL CONTACTO, LA EXPRESIÓN GESTUAL	258
6.6.7. POSICIONES FUNCIONALES Y DE INMOVILIZACIÓN DE LA MANO	259
6.6.8. LOS MOVIMIENTOS DE FLEXIÓN-EXTENSIÓN EN LA ARTICULACIÓN METACARPOFALÁNGICA DEL PULGAR	263
6.6.9. LOS MOVIMIENTOS DE INCLINACIÓN-ROTACIÓN DE LA ARTICULACIÓN METACARPOFALÁNGICA	265
6.6.10. LA ARTICULACIÓN INTERFALÁNGICA DEL PULGAR	267
6.6.11. INTERACCIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA MUÑECA Y DE LA MANO	268
6.7. CADERA	270
6.7.1. INTRODUCCIÓN	270



6.7.2. MOVIMIENTOS DE FLEXIÓN DE LA CADERA .....	271
6.7.3. MOVIMIENTOS DE EXTENSIÓN DE LA CADERA .....	272
6.7.4. MOVIMIENTOS DE ABDUCCIÓN DE LA CADERA .....	274
6.7.5. MOVIMIENTOS DE ADUCCIÓN DE LA CADERA .....	275
6.7.6. MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN LONGITUDINAL DE LA CADERA .....	277
6.7.7. EL MOVIMIENTO DE CIRCUNDUCCIÓN DE LA CADERA .....	278
6.8. RODILLA .....	280
6.8.1. INTRODUCCIÓN .....	280
6.8.2. LOS EJES DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA .....	281
6.8.3. LOS MOVIMIENTOS DE FLEXOEXTENSIÓN .....	283
6.8.4. LA ROTACIÓN AXIAL DE LA RODILLA .....	284
6.9. PIE Y TOBILLO .....	286
6.9.1. INTRODUCCIÓN .....	286
6.9.2. FLEXOEXTENSIÓN DEL TOBILLO.....	287
6.9.3. LOS MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN LONGITUDINAL Y DE LATERALIDAD DEL PIE.....	288
6.9.4. LA EXTENSIÓN DE LOS DEDOS DEL PIE .....	290
6.10. BIOMECÁNICA APLICADA .....	292
6.10.1. POSTURA DE SEDESTACIÓN .....	292
6.10.2. PROBLEMAS BIOMECÁNICOS DE LA SEDESTACIÓN .....	294
6.10.3. EL ASIENTO .....	295
6.10.3.1. REPOSABRAZOS .....	295
6.10.3.2. RESPALDO .....	295
6.10.3.3. ASIENTO.....	296
6.10.3.4. REPOSACABEZAS.....	296
6.10.4. LESIONES Y DOLENCIAS DEL CONDUCTOR <i>PROFESIONAL</i> .....	296
7. SENSACIÓN Y PERCEPCIÓN .....	299



7.1. INTRODUCCIÓN A LA PERCEPCIÓN .....	299
7.1.1. LA IMPORTANCIA DE LA PERCEPCIÓN.....	299
7.1.2. EL PROCESO PERCEPTIVO .....	300
7.1.3. ESTUDIO DEL PROCESO PERCEPTIVO.....	301
7.2. RECEPTORES Y PROCESAMIENTO NEURONAL .....	304
7.3. EL NÚCLEO GENICULADO LATERAL Y EL CORTEX ESTRIADO .....	307
7.4. LA PERCEPCIÓN DE LOS OBJETOS.....	310
7.4.1. EL ENFOQUE DE LA GESTALT Y LA ORGANIZACIÓN PERCEPTIVA... ..	310
7.4.2. LAS LEYES DE LA ORGANIZACIÓN PERCEPTIVA DE LA GESTALT ....	310
7.4.3. SEGREGACIÓN PERCEPTIVA DE LA GESTALT .....	311
7.4.4. OTROS ENFOQUES PARA EXPLICAR LA PERCEPCIÓN DE LOS OBJETOS .....	312
7.5. PERCEPCIÓN A TRAVÉS DE LA VISIÓN.....	314
7.5.1. LA VISIÓN .....	314
7.5.1.1. ANATOMÍA DEL OJO .....	314
7.5.1.2. MECANISMO DE ACOMODACIÓN DEL OJO .....	315
7.5.1.3. CAMPO VISUAL Y CAMPO DE FIJACIÓN .....	316
7.5.1.4. AGUDEZA VISUAL.....	316
7.5.2. LA PERCEPCIÓN DEL COLOR.....	322
7.5.2.1. VISIÓN DEL COLOR.....	322
7.5.2.2. CUALIDADES PSICOCROMÁTICAS DE LOS COLORES .....	323
7.5.2.3. SELECCIÓN DEL COLOR.....	324
7.5.3. LA PERCEPCIÓN DE LA PROFUNDIDAD.....	325
7.5.4. LA PERCEPCIÓN DEL TAMAÑO .....	327
7.5.5. LA PERCEPCIÓN DEL MOVIMIENTO.....	327
7.5.6. PERCEPCIÓN Y ACCIÓN.....	329
7.6. PERCEPCIÓN A TRAVÉS DEL OÍDO .....	331





7.6.1. EL OÍDO .....	331
7.6.1.1. ANATOMÍA DEL OÍDO .....	331
7.6.1.2. FISIOLOGÍA DE LA AUDICIÓN .....	333
7.6.2. EL SONIDO .....	336
7.6.3. LA PERCEPCIÓN DEL TONO .....	339
7.6.4. LOCALIZACIÓN AUDITIVA: UBICACIÓN DE SONIDOS SIMPLES EN EL ESPACIO .....	340
7.6.5. LA CUALIDAD DEL SONIDO: CÓMO SUENA UN ESTÍMULO.....	343
7.6.6. ANÁLISIS DE LA ESCENA AUDITIVA: IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES SONORAS.....	344
7.7. PERCEPCIÓN A TRAVÉS DE LOS SENTIDOS CUTÁNEOS.....	345
7.7.1. LA PIEL Y SUS RECEPTORES .....	345
7.7.2. PROCESAMIENTO NEURONAL DE LOS ESTÍMULOS TÁCTILES .....	347
7.7.3. RECONOCIMIENTO TÁCTIL DE LOS OBJETOS .....	349
7.7.4. LA PERCEPCIÓN DEL DOLOR.....	349
8. ERGONOMÍA .....	351
8.1. INTRODUCCIÓN .....	351
8.2. NATURALEZA Y OBJETIVOS DE LA ERGONOMÍA.....	353
8.2.1. DEFINICIÓN Y CAMPO DE ACTIVIDAD .....	353
8.2.2. HISTORIA Y ESTADO.....	354
8.2.3. ERGONOMÍA Y DISCIPLINAS AFINES .....	356
8.2.4. OBJETIVOS DE LA ERGONOMÍA.....	357
8.3. CLASIFICACION Y AMBITO DE APLICACION DE LA ERGONOMIA .....	362
8.4. ERGONOMÍA AMBIENTAL .....	364
8.4.1. FACTORES FÍSICOS.....	364
8.4.1.1. ILUMINACIÓN .....	364
8.4.1.2. TEMPERATURA.....	371



8.4.1.3. VIBRACIÓN .....	377
8.4.1.4. RUIDO .....	382
8.4.2. FACTORES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS: CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR .....	385
8.5. ERGONOMÍA GEOMÉTRICA: ESPACIOS DE TRABAJO .....	391
8.5.1. SUPERFICIES DE TRABAJO .....	391
8.5.1.1. SUPERFICIES DE TRABAJO. DISTANCIAS.....	392
8.5.2. TRABAJO SENTADO .....	393
8.5.3. TRABAJO DE PIE.....	397
8.5.4. LA CIENCIA DE SENTARSE .....	399
8.6. ERGONOMÍA TEMPORAL .....	402
8.6.1. FATIGA GENERAL .....	402
8.6.2. ESTRÉS, TESIÓ, FATIGA Y RECUPERACIÓN.....	403
8.6.3. CARGA MENTAL DE TRABAJO. FATIGA MENTAL.....	405
8.6.4. VIGILANCIA.....	408
8.6.5. ORGANIZACIÓN DE TIEMPOS .....	409
8.6.5.1. HORARIOS, TURNOS Y DESCANSOS.....	409
8.6.5.2. PRIVACIÓN DEL SUEÑO.....	413
8.7. INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.....	419
8.7.1. DISPOSITIVOS INFORMATIVOS VISUALES (DIVs) .....	419
8.7.1.1. INTRODUCCIÓN.....	419
8.7.1.2. TIPOS DE DIVs.....	419
8.7.1.3. INDICADORES ANALÓGICOS vs DIGITALES.....	420
8.7.1.4. INDICADORES ANALÓGICOS vs REPRESENTATIVOS .....	421
8.7.1.5. DISEÑO DE INDICADORES DIGITALES.....	421
8.7.1.6. DISEÑO DE INDICADORES ANALÓGICOS: .....	422
8.7.1.7. DISEÑO DE INDICADORES SIMBÓLICOS .....	424



8.7.1.8. DISEÑO DE INDICADORES PICTÓRICOS .....	424
8.7.1.9. DIVs DE ALERTA-PELIGRO .....	425
8.7.1.10. REDISEÑO DE DIVs .....	426
8.7.1.11. ATENCIÓN Y BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN.....	427
8.7.1.12. DIVs Y CONTROLES .....	428
8.7.1.13. ILUMINACIÓN DE PANTALLAS .....	429
8.7.2. MANDOS.....	430
8.7.2.1. INTRODUCCIÓN .....	430
8.7.2.2. TIPOS DE MANDOS.....	431
8.7.2.3. DIFERENCIACIÓN DE MANDOS .....	432
8.7.2.4. DISPOSICIÓN DE LOS MANDOS .....	433
8.7.2.5. DISEÑO DE MANDOS .....	435
9. PAUTAS PARA EL DISEÑO DEL PUESTO DE CONDUCCIÓN DE UN AUTOMÓVIL BASADO EN LA ERGONOMÍA. ....	437
9.1. ESPACIO PARA LA CONDUCCIÓN.....	437
9.1.1. ESPACIO DESTINADO AL CONDUCTOR. ....	437
9.1.1.1. ACCESO AL PUESTO DEL CONDUCTOR.....	437
9.1.1.2. ALTURA DEL PUESTO DE CONDUCTOR.....	438
9.1.1.3. ANCHURA DEL PUESTO DE CONDUCTOR.....	438
9.1.1.4. PROFUNDIDAD DEL PUESTO DE CONDUCTOR.....	438
9.1.2. DIMENSIONES Y DISEÑO DEL ASIENTO. AJUSTE.....	440
9.1.2.1. DIMENSIONES Y GEOMETRÍA DEL ASIENTO Y SISTEMA DE AJUSTE .....	440
9.1.2.2. DIMENSIONES Y GEOMETRÍA DEL RESPALDO Y SISTEMA DE AJUSTE .....	443
9.1.2.3. SUSPENSIÓN DEL ASIENTO Y AMORTIGUAMIENTO DE VIBRACIONES .....	445
9.1.2.4. REPOSACABEZAS Y AJUSTE .....	446

9.1.2.6. TAPIZADO Y ACOLCHADO DEL ASIENTO .....	448
9.1.3. CAMPO DE VISIÓN.....	450
9.1.3.1. CAMPO DE VISIÓN DIRECTO .....	450
9.1.3.2. CAMPO DE VISIÓN INDIRECTA .....	451
9.1.3.3. RETROVISORES .....	452
9.1.3.4. PARASOLES.....	453
9.2. UBICACIÓN Y DISEÑO DE LOS MANDOS.....	454
9.2.1. VOLANTE.....	454
9.2.1.1. POSICIÓN DEL VOLANTE .....	454
9.2.1.2. DIÁMETRO DEL VOLANTE .....	455
9.2.1.4. FUERZA DE ACCIONAMIENTO .....	456
9.2.1.5. MATERIAL QUE RECUBRE EL VOLANTE.....	457
9.2.1.6. DISPOSICIÓN DE MANDOS DENTRO DEL VOLANTE .....	458
9.2.1.7. DISPOSICIÓN DE MANDOS ALREDEDOR DEL VOLANTE ....	458
9.2.2. PALANCA DE CAMBIO DE MARCHA.....	459
9.2.2.1. POSICIÓN DE LA PALANCA DE CAMBIO DE MARCHA.....	459
9.2.2.2. DISEÑO DE LA PALANCA DE CAMBIO DE MARCHA .....	460
9.2.3. PEDALES. ....	461
9.2.3.1. POSICIÓN DE LOS PEDALES Y SEPARACIÓN ENTRE ELLOS	461
9.2.3.2. DISEÑO DE LOS PEDALES.....	463
9.2.3.3. FUERZA DE ACCIONAMIENTO .....	464
9.2.4. OTROS MANDOS.....	464
9.2.4.1. INTERMITENTES Y LUCES DE LARGO ALCANCE. ....	464
9.2.4.2. LUCES .....	465
9.2.4.3. LIMPIAPARABRISAS.....	467
9.2.4.4. APERTURA Y CIERRE DE VENTANAS, AJUSTE DE RETROVISORES Y CIERRE CENTRALIZADO .....	467

9.2.4.5. ACCIONAMIENTOS PARA AJUSTE DE ASIENTO .....	469
9.3. UBICACIÓN Y DISEÑO DE ELEMENTOS DE INFORMACIÓN.....	471
9.3.1. CUENTARREVOLUCIONES.....	471
9.3.2. VELOCÍMETRO.....	473
9.3.3. ORDENADOR DE ABORDO.....	474
9.3.4. RELOJ / TERMÓMETRO. ....	474
9.3.5. INDICADORES DE NIVEL .....	475
9.3.6. INDICADORES SIMBÓLICOS .....	476
9.3.7. CUENTAKILÓMETROS .....	476
9.4. UBICACIÓN Y DISEÑO DE OTROS ELEMENTOS. ....	477
9.4.1. WARNING.....	477
9.4.2. CINTURON DE SEGURIDAD. ....	477
9.4.3. FRENO DE ESTACIONAMIENTO.....	479
9.4.4. PALANCA DE APERTURA DE PUERTAS. ....	480
9.4.5. AIRE ACONDICIONADO/CLIMATIZADOR.....	481
9.4.6. SALIDAS DE AIRE. ....	483
9.4.7. RADIO / CD. ....	484
9.4.8. CENICERO / MECHERO.....	484
9.4.9. PUNTOS DE LUZ. ....	485
9.5. ESPACIOS PARA ALMACENAJE.....	486
9.5.1. GUANTERA.....	486
9.5.2. ESPACIO PARA GAFAS DE SOL.....	486
9.5.3. ESPACIO PARA BEBIDA. ....	487
9.5.4. ESPACIO PARA DOCUMENTACIÓN.....	488
9.6. CONDICIONES AMBIENTALES.....	489
9.6.1. ILUMINACIÓN.....	489



9.6.2. TEMPERATURA. ....	490
9.6.3. VIBRACIONES. ....	491
9.6.4. RUIDO. ....	491
10. CONCLUSIONES. ....	493
11. BIBLIOGRAFÍA. ....	496



# 1. INTRODUCCIÓN

Este documento ha sido desarrollado como punto final de la carrera de Ingeniería Industrial. Es un Proyecto Fin de Carrera que yo mismo propuse, debido al interés que siempre había despertado en mí el diseño, y más aún el diseño industrial.

Al indagar en el tema de la ergonomía, uno se da cuenta que antes debe estudiar otras materias. Antes hay que aprender de antropometría, de anatomía, de fisiología, de biomecánica, de percepción... y después, ya podemos ponernos con la ergonomía.

Muchas personas e instituciones que han trabajado en el ámbito del diseño aplicado a la persona han realizado su propia definición de *Ergonomía*, dando como resultado multitud de diferentes definiciones para un mismo concepto. En todas ellas el hombre es el protagonista, pero no todas relacionan al hombre con las mismas disciplinas. Las siguientes son definiciones de ergonomía ordenadas cronológicamente:

- Carpenter 1961: *La aplicación conjunta de algunas ciencias biológicas y ciencias de la ingeniería para asegurarse entre el hombre y el trabajo una óptima adaptación mutua con el fin de incrementar el rendimiento del trabajador y contribuir a su propio bienestar.*
- Murrell 1965: *La ergonomía es el estudio del ser humano en su ambiente laboral.*
- Grandjean 1969: *El estudio del comportamiento del hombre en su trabajo.*
- Singleton 1969: *Interacción entre el hombre y las condiciones ambientales.*
- Faverge 1970: *Es el análisis de los procesos industriales centrado en los hombres que aseguran su funcionamiento.*
- Montmollin 1970: *Es una tecnología de las comunicaciones dentro de los sistemas hombre-máquina.*
- Wisner 1973: *La ergonomía es el conjunto de conocimientos científicos relativos al hombre y necesarios para concebir útiles, máquinas y dispositivos que puedan ser utilizados con la máxima eficacia, seguridad y confort.*
- Cazamian 1973: *La ergonomía es el estudio multidisciplinar del trabajo humano que pretende descubrir sus leyes para formular mejor sus reglas.*
- Ministerio de Trabajo de España, Plan Nacional de Higiene 1974: *Tecnología que se ocupa de las relaciones entre el hombre y el trabajo.*
- Guélaud, Beauchesne, Gautrat y Roustang 1975: *El análisis de las condiciones de trabajo que conciernen al espacio físico del trabajo, ambiente térmico, ruidos, iluminación, vibraciones, posturas de trabajo, desgaste energético, carga mental, fatiga nerviosa, carga de trabajo, y todo aquello que pueda poner en peligro la salud del trabajador y su equilibrio psicológico nervioso.*
- McCormick 1981: *La ergonomía trata de relacionar las variables del diseño por una parte y los criterios de la eficacia funcional o bienestar para el ser humano, por la*



*otra.*

- Asociación *Española de Ergonomía 1981: La ciencia aplicada de carácter multidisciplinar que tiene como finalidad la adecuación de los productos, sistemas y entornos artificiales a las características, limitaciones y necesidades de los usuarios, para optimizar su eficacia, seguridad y confort.*
- Pheasant 1988: *Es la aplicación científica que relaciona a los seres humanos con los problemas del proyecto tratando de acomodar el lugar de trabajo al sujeto y el producto al consumidor.*
- Real Academia Española 1992: *Estudio de datos biológicos y tecnológicos aplicados a problemas de mutua adaptación entre el hombre y la máquina.*
- Norma UNE EN ISO 6385:2004: *Disciplina científica que trata de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema, así como la profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos al diseño, con objeto de optimizar el bienestar del ser humano y el resultado global del sistema.*

El porqué de la decisión de aplicar la ergonomía a la conducción es parecido que el del cinturón de seguridad, que el de los controles de velocidad o el del airbag. La seguridad. La seguridad en el caso del cinturón de seguridad o del airbag es una seguridad pasiva, puesto que sólo funcionan en caso de accidente. En el caso de la ergonomía la seguridad es activa, puesto que intenta evitar el accidente. Es importante tener elementos de seguridad pasiva, pero más lo es tenerlos de seguridad activa. El porqué de esto es claro y se puede responder con la siguiente pregunta, ¿qué es mejor evitar un accidente, o minimizar los daños de un accidente?

Tres son los factores que se relacionan entre sí con la circulación: conductor, vehículo y vía. Siendo el conductor el único con capacidad de decisión, adaptando su manera de conducir a las circunstancias que envuelven a la vía, al vehículo e incluso a sí mismo. Para prevenir un accidente es necesario mantener un equilibrio entre las exigencias y las capacidades. Entre las condiciones de la vía, del entorno y del vehículo y el nivel de atención, capacidad de reacción y habilidad en el manejo de los mandos del conductor. De esta manera, el accidente ocurre cuando el nivel de las capacidades no está por encima del nivel de las exigencias.

La ergonomía relaciona el diseño con las personas, tratando de hacer de ellos un matrimonio perfecto. Se encarga de hacer más cómodo el uso de objetos, más inteligibles el uso de dispositivos y más accesibles y practicables el uso de instalaciones. La ergonomía en el diseño de un automóvil entra en diversas áreas. Algunos ejemplos de esta intromisión de la ergonomía en el diseño de un vehículo pueden ser la correcta climatización del vehículo para un mayor confort de sus pasajeros, un buen diseño del asiento que evite malas posturas y que sujete correctamente el cuerpo, una buena accesibilidad a los diferentes mecanismos y dispositivos del vehículo, una buena visibilidad

de la carretera y del entorno, una reducción del estrés que sufre el conductor por medio de un correcto diseño del habitáculo...

Todo este diseño aplicado tiene como finalidad disminuir el riesgo de que se produzca un accidente. Por ello podemos englobar la ergonomía dentro de los sistemas de seguridad activa del vehículo.

La seguridad activa es aquella cuyo objetivo es el de evitar el accidente, esto se consigue gracias a un equipamiento específico que confiere al conductor un completo dominio del vehículo, disminuyendo de esta manera el riesgo de colisión. En la seguridad activa se incluyen mecanismos y dispositivos tales como los frenos, el ABS, el sistema de estabilización (ESP), los neumáticos, la suspensión, la dirección, el alumbrado... y conceptos tales como la ergonomía. En este caso la ergonomía tiene como finalidad el diseño de un automóvil que el conductor pueda dominar por completo. Es decir, de qué valdría tener el mejor sistema de frenada si no podemos accionar dicho mecanismo debido a una mala posición del pedal.

La ergonomía la podríamos subcategorizar como seguridad preventiva dentro de la seguridad activa. Encargándose de los aspectos que influyen en el conductor.

La conducción de un coche, aunque sea una actividad muy usual, requiere compromiso por parte de quien lleva el volante. Esta persona es responsable del manejo de una máquina y, si viaja acompañada, también lo es de los ocupantes del vehículo. Por eso, su comodidad ha de prevalecer. Esta comodidad es lo que se define como ergonomía o soluciones ergonómicas y podríamos dividirla en tres niveles:

- El primero ofrece soluciones para el pilotaje directo, como el equilibrio en la colocación del asiento, pedales y volante.
- El segundo se ocupa de ofrecer un acceso rápido y controlado a los instrumentos de navegación, como los interruptores de las luces, la regulación de espejos o los ajustes de la temperatura.
- El tercero procura intuición y sencillez en el manejo de otras funciones, ajenas a la conducción pero no al viaje, como la apertura y llenado del maletero o el uso del equipo de sonido.

Con mayor o menor desarrollo, cada uno de los tres niveles funcionará si logra lo que busca, el confort y bienestar para garantizar un buen viaje.

El usuario debe ser también un agente activo de la ergonomía al volante. Poco puede hacer ante la distribución del habitáculo, pero sí está en su mano la elección del que mejor se adapte a su fisionomía. A pesar de que cada persona tiene un peso, una complexión, una altura y unos hábitos de conducción propios, los ingenieros y diseñadores que desarrollan los modelos se basan en estudios experimentales de datos antropométricos

(medidas corporales) para universalizar los resultados y, aunque el automóvil es un producto fabricado en serie, el abanico de posibilidades de elección ha crecido en los últimos años.

Así pues la mejora de la ergonomía en el puesto del conductor puede ser beneficiosa desde distintos puntos de vista. Por un lado, las mejoras en la postura de conducción y la accesibilidad de los mandos pueden contribuir a reducir el discomfort en los conductores. Y por otro lado, la optimización del campo de visión del conductor y de la accesibilidad de ciertos mandos, puede reducir el tiempo de respuesta ante determinadas situaciones de riesgo, y contribuir a evitar posibles accidentes. Además, las mejoras ergonómicas ayudan a reducir la fatiga del conductor, lo que se traducirá también en un menor riesgo de accidente.

Si se bucea en los archivos de la Dirección General de Tráfico (DGT), se puede encontrar un sinfín de estadísticas, las cuales animan a minimizar los accidentes. Ya sea cuando se está al volante o cuando se diseña un coche. Una de las muchas estadísticas que la DGT ofrece, es la causa del accidente en relación con el tipo de vehículo que se conduce y con el tipo de carretera por la que se circula. La clasificación divide los accidentes según la infracción cometida.

Sobre muchas infracciones no se puede actuar previamente, pero sobre otras sí, como puede ser el ejemplo claro de poner unos neumáticos que reducen la distancia de frenada. En el caso que nos atañe, mejorando la ergonomía del vehículo, se puede evitar o al menos minimizar las distracciones, una gran causa de siniestralidad.

Si se reúnen los datos de los últimos cinco años registrados (hay datos desde 1999 hasta 2010) y centrando la atención únicamente en el apartado de *Conducción distraída o desatenta* y su relación con el total, se puede observar que es en torno al 10% de los accidentes los que se producen por esta causa:

	2006	2007	2008	2009	2010
<b>TOTAL ACCIDENTES</b>	229183	235700	215676	204461	197520
Conducción distraída o desatenta	24437	23424	21219	19810	19072
<b>Conducción distraída o desatenta / TOTAL</b>	<b>10,7%</b>	<b>9,9%</b>	<b>9,8%</b>	<b>9,7%</b>	<b>9,7%</b>

Porcentaje de accidentes por causa de la *conducción distraída o desatenta*. (www.dgt.es)

En resumen, y con las estadísticas en la mano. Es necesario seguir aplicando mejoras a los vehículos, es necesario hacer los vehículos más seguros.

El cuerpo de este proyecto se divide en siete partes:

- Análisis del estado del arte.
- Antropometría.
- Anatomía y fisiología.
- Biomecánica.
- Sensación y percepción.
- Ergonomía.
- Pautas para el diseño del puesto de conducción de un automóvil basado en la ergonomía.

En el capítulo de *Análisis del estado del arte* se hace una breve incursión al estado actual del parque automovilístico en cuanto al diseño ergonómico de los automóviles.

En el siguiente capítulo, el que trata sobre la *Antropometría*, se hace una introducción al mundo de la antropometría, para saber dónde nace y cómo se desarrolla a través del tiempo. También se visualiza la ergonomía desde el enfoque de la antropometría, para emplear correctamente las medidas tomadas *in situ* o extraídas de tablas. Por último se dedicará un espacio a la aplicación directa de la antropometría al diseño y se adjuntarán unas tablas extraídas del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

En el apartado que versa sobre *Anatomía y fisiología* se explicará la morfología y funcionalidad de las distintas partes del cuerpo humano, de tal manera que podamos ser capaces de evaluar diseños enfocados a la persona. Es importante saber qué huesos, **músculos, tendones, articulaciones...** intervienen en cada qué acción y cuáles son sus movimientos naturales. También se completa el capítulo con las enfermedades y lesiones típicas de cada parte del cuerpo humano, de tal manera que podamos desde la fase de diseño intentar evitarlas.

El sexto capítulo está dedicado a la *Biomecánica*, de tal manera que discurrirá sobre los modelos, fenómenos y leyes que son relevantes al movimiento, incluyendo la estática. Se aplicarán conocimientos de mecánica, anatomía y fisiología para obtener los rangos de trabajo de las diferentes partes del cuerpo humano.

El apartado que trata de *Sensación y percepción* presenta la importancia de captar qué pasa en el entorno. Se estudiará el proceso perceptivo y la percepción de los objetos gracias a los diferentes sentidos.

En el octavo capítulo y tras haber visto todo lo anterior entramos en la *Ergonomía*. Se presenta en la parte final del proyecto porque necesita de las herramientas vistas en todos los demás capítulos para entenderse cómo ciencia multidisciplinar al servicio del ser humano. Se verán con detalle las ergonomías ambiental, geométrica y temporal. Y por último se verá la adecuación del uso de los diferentes interfaces hombre-máquina.



Como resumen de todo el proyecto y a modo de extrapolación del trabajo de investigación del proyecto, se plantea el capítulo de *Pautas para el diseño del puesto de conducción de un automóvil basado en la ergonomía*, en el cual se pretende sacar un modelo para poder diseñar el puesto de conducción de un automóvil desde un criterio ergonómico.

Además de estos siete capítulos que forman el cuerpo del proyecto también podemos encontrar al final una recopilación de libros, revistas, normas y páginas webs, a modo de bibliografía, imprescindible siempre para el desarrollo de cualquier proyecto.



## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal que se quiere alcanzar con este proyecto es el de ver cómo optimizar la relación vehículo/conductor, conociendo qué existe y qué posibilidad hay de mejorarlo. Para ello es principal estudiar tanto al conductor como al vehículo desde diferentes perspectivas. Por esto se desarrollarán en este proyecto tan variados temas; los cuales, en ocasiones, darán la sensación que se desvían, más de lo que se acercan, del tema principal. Pero realmente lo que hacen será dar un rodeo para tratar la ergonomía del vehículo desde diferentes puntos de vista, todos ellos, imprescindibles según mi criterio.

También se pretende demostrar las carencias fundamentales que aún tienen muchos fabricantes en cuanto a la aplicación de la ergonomía en sus diseños y en cómo esto afecta ampliamente al conductor.

Un objetivo más ambicioso es el de marcar unas pautas básicas de diseño para futuros proyectos y poder realizar un diseño basado en esas pautas. De tal manera que la ergonomía esté integrada en el vehículo desde su fase de concepción, y no quede supeditada a la economía o a las líneas de moda del momento, ya que la seguridad es más importante que la velocidad o la aceleración. Nadie en la actualidad se plantea quitar los cinturones de seguridad porque no sean estéticos, ni prescindir del ABS para ahorrar coste.

La ergonomía es un elemento de seguridad activa tan importante como lo pueda ser un buen sistema de iluminación exterior, unos buenos neumáticos que aseguren una mayor adherencia o incluso un buen sistema de frenado. Y por supuesto, siempre es mejor invertir en prevenir el accidente que en minimizar sus consecuencias. Quizá las empresas aseguradoras deban premiar con bajadas en los seguros a los dueños de coches cuya siniestralidad se haya demostrado que es menor. Al igual que ocurre, en sentido contrario, con otros conceptos del automóvil como pueda ser la potencia, la capacidad del motor o incluso el color.





### 3. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

A la hora de adquirir un coche se tienen en mente una serie de características que se consideran importantes. Estas características son innumerables y cada persona tiene sus preferencias. Hay quien prefiere diesel y quien prefiere gasolina. Los hay que buscan potencia, y otros, únicamente seguridad. Para muchos lo importante es el confort, o un maletero enorme. Y para la gran mayoría, el precio es el condicionante principal.

Por todo esto, cada fabricante suele tener en el mercado diferentes tipos de vehículos. Dependiendo del aspecto exterior de la carrocería, los vehículos se dividen en los siguientes grupos:

- Sedán o berlina: Automóvil cuya carrocería está totalmente recubierta por un techo rígido, con cuatro o cinco plazas. Llevan dos puertas a cada lado y cuatro o seis ventanas laterales.
- Sedán convertible: Sedán en el que el techo puede plegarse.
- Coupé: Automóvil de carrocería cubierta con techo rígido, con dos plazas y solo dos puertas.
- Cabriolet: Automóvil con dos puertas, de dos o cuatro plazas, con capota plegable.
- Limousine: Automóvil generalmente de grandes dimensiones, con cuatro o cinco plazas, además de unos asientos plegables para poder aumentar su capacidad (hasta nueve).
- Familiar: Tipo de automóvil llamado también *ranchera* o *break*. Se trata de un sedán en el que la parte trasera ha sido alargada y además se ha provisto de una o dos puertas abatibles.
- Todo terreno: Automóvil 4x4 de utilización mixta sobre asfalto y campo a través, con techo rígido o desmontable, y de cuatro o cinco plazas, ampliables en el tipo *wagon* de cinco puertas.
- Fastback: Automóvil con techo inclinado hacia atrás y que termina formando un corte brusco.
- Monovolumen: Automóvil compacto donde el habitáculo del conductor y pasajeros forman un espacio amplio que ocupa toda la carrocería. Más funcional que el familiar y para menos pasajeros.
- Furgón: Camión con cabina integrada en el resto de la carrocería.

Así pues, se puede decir que existe gran variabilidad de modelos de coche, entre los cuales, el usuario debe elegir. Tras saber el tipo de coche necesario, la información sobre cada uno de ellos es enorme. Por lo general podemos saber hasta el último detalle de cada coche. Incluso, hay gran cantidad de revistas, especializadas en hacer comparaciones entre coches parecidos, sacando conclusiones sobre cuál es mejor según qué.

Una característica muy importante, de la cual no suelen darse datos es de las medidas interiores, de la adaptabilidad de los asientos, de la ubicación de los mandos... Las personas que ya han sufrido las consecuencias de ir estrecho o de no llegar a los sitios, de no encontrar los mandos que buscan, de no poner las luces antiniebla porque no saben dónde **están... suelen tener en mente** que el próximo coche que adquieran se debe adaptar mejor a él. Pero una gran cantidad de conductores, dan por supuesto que el coche se adaptará a ellos perfectamente, tal y como se adaptó el que tienen en la actualidad. El problema es que no se suele recordar que al principio se pasa muy mal buscando las luces en el lugar en el que estaban en el anterior coche o echando la mano hacia el botón de emergencia que no está donde pensábamos que estaba. Si además, cambiamos de coche con frecuencia, es difícil encontrar intuitivamente aquello que se busca.

Es importante generalizar la ubicación de los componentes principales de los vehículos. De esta manera, nos montemos en el coche que nos montemos, sabremos cómo accionar los limpiaparabrisas, cómo encender las luces o dónde está el botón de emergencia.

Con respecto a las dimensiones interiores de los vehículos, debemos pensar que cuando conducimos, lo hacemos por dentro. Es decir, el coche, es posible que sea precioso y tenga una potencia espectacular, pero si al conducir estamos incómodos o el espacio que me deja para los brazos no es suficiente, el coche pierde su funcionalidad y empieza, incluso, a resultar peligroso. La siguiente imagen refleja en qué deberíamos fijarnos de los coches.



Imagen publicitaria del *Volkswagen Fox*

Los fabricantes tienen muy en cuenta los espacios interiores y la adaptabilidad a la persona que va a conducir.

Ergonomía según Volkswagen:

*La ergonomía es el estudio de las capacidades y limitaciones humanas al trabajar, y de la adaptación mutua óptima entre los humanos y su entorno de trabajo.*

*En el ámbito de la automoción, el término ergonomía se usa para referirse a la adaptación óptima de los vehículos a los humanos para minimizar la carga sobre el conductor y los pasajeros. Este proceso debe tomar en consideración el espectro más amplio posible de estaturas, hábitos de asiento y hábitos de conducción. A fin de permitir a los conductores dedicar toda su atención a lo que sucede por delante en la carretera, todos los controles tales como interruptores y palancas deberían estar dispuestos racionalmente de tal forma que impida confundirlos entre sí, deberían tener un accionamiento suave y estar iluminados en la oscuridad.*

*Unos interiores con ergonomía bien planificada marcan el criterio a la hora de diseñar cualquier modelo Volkswagen, como prerequisite para una conducción segura y comfortable.*

Un ejemplo clarísimo de aplicación ergonómica, aunque no sea dentro del automóvil, es la apertura del maletero que han diseñado en Ford para su modelo Ford Kuga. En la versión web de la revista Muy Interesante puede leerse lo siguiente:

*El maletero manos libres que se abre con el pie:*

*¿Cómo abres el maletero cuando tienes las manos ocupadas por ejemplo con la compra del supermercado? Para evitar tener que dejar la compra, el carrito o cualquier cosa con que estés ocupado en Ford **han creado un imaginativo sistema de apertura con el pie**. ¿Cómo funciona?*

*El maletero de cualquier coche, hasta ahora, se abría con una palanca que solo se podía activar con las manos, lo que hacía sumamente complicado activarla cuando se iba cargado. Gracias a un par de sensores situados bajo el parachoques del vehículo y el sistema de arranque por pulsación Instant Access de la marca americana el conductor solo tiene que hacer un pequeño movimiento con el pie por debajo del maletero para que este se abra automáticamente.*

***¿Cómo evita que el maletero se abra con el paso de un pequeño animal como un gato bajo el coche? ¿Cualquiera podría abrir el maletero con solo pasar el pie bajo el parachoques?** No. Tras seis meses de trabajo en el laboratorio de interfaz Hombre-Máquina de Ford con pruebas reales, sus ingenieros han conseguido que estos imprevistos no supongan un problema. En primer lugar el*

sistema **Instant Access** hace que solo el dueño del vehículo, cuando está cerca, pueda abrirlo y por otro, los dos sensores del parachoques trasero detectan la espinilla y el movimiento del pie, evitando que con cualquier movimiento se pueda abrir el portón trasero. Solo se abrirá entonces cuando el dueño del coche esté cerca y realice un preciso movimiento.



Este innovador sistema se presentará en el **Salón del Automóvil de Ginebra** que comenzará el próximo 8 de marzo y, aunque ya se ha probado en el Ford Escape, no llegará a Europa hasta finales de año en el Ford Kuga.

Casos como este, en los cuales los ingenieros de los diferentes fabricantes de automóviles, piensan cómo mejorar y cómo facilitar la conducción, son las que hacen que año tras año se sigan exponiendo novedades en los diferentes Salones del Automóvil de las ciudades más importantes del mundo.

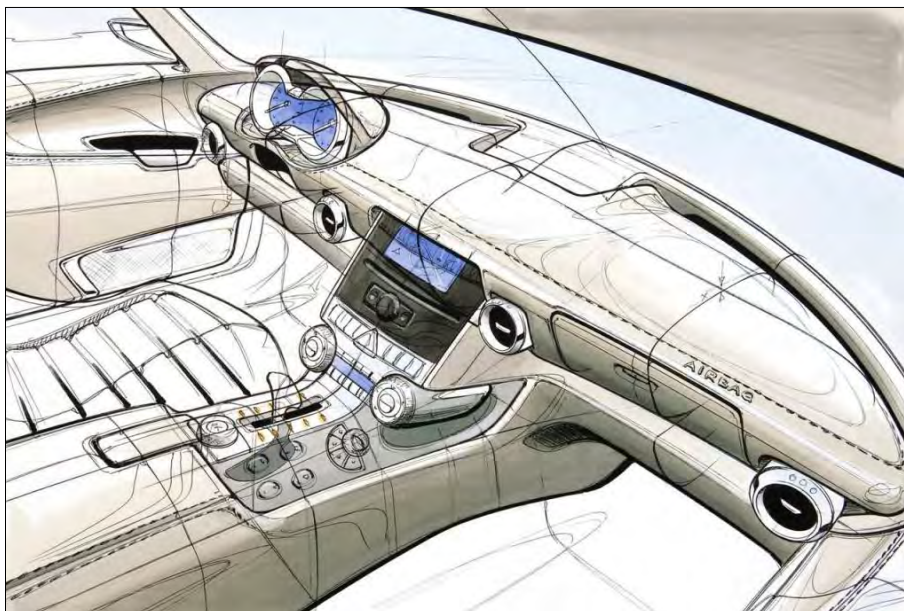
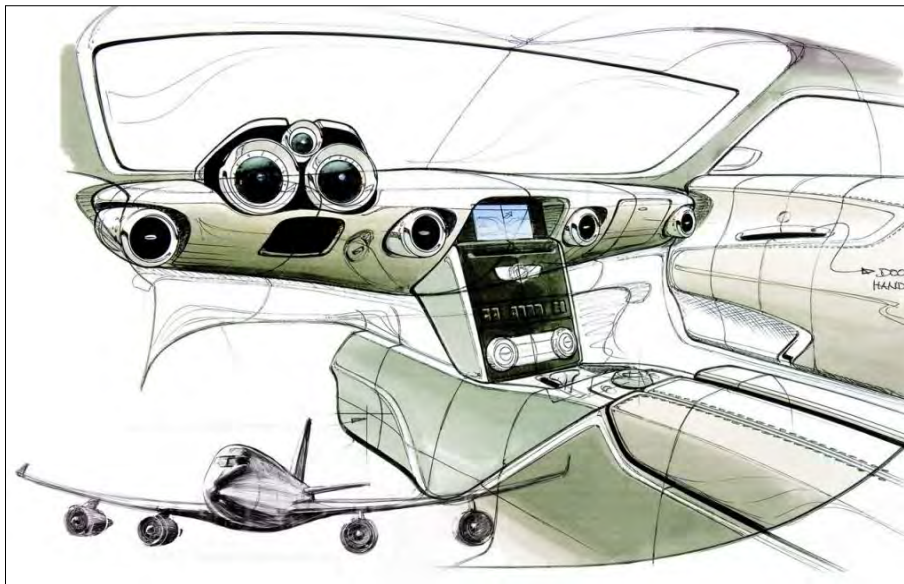
El diseño automotriz es una disciplina que se ocupa de la creación y del desarrollo de los automóviles. El diseñador debe estudiar una gran variedad de factores antes de comenzar con el diseño propiamente dicho.

El diseñador debe estudiar los objetos y sintetizar la información brindada por estudios de mercado, anatómicos, de funciones y culturales, entre otros, para poder diseñar productos que se adecuen a las necesidades y expectativas del mercado. No sólo tomará en cuenta los aspectos estéticos, sino también la resistencia estructural, la textura, los materiales empleados, para lo cual debe conocer los procesos de fabricación y los costos de producción.

En el diseño de un automóvil trabajan profesionales capaces de diseñar, mejorar, solucionar, emplear y poner en marcha, proyectos de diseño de automóviles, abarcando los procesos técnicos desde la planificación hasta la comercialización.

Los fabricantes de la industria automotriz invierten grandes cantidades de dinero cada año con el objetivo de construir los mandos, de tal manera que los accionamientos se sitúen al

alcance de la mano de un pasajero de talla media. Los accionamientos se agrupan dependiendo las funciones que activen, dando prioridad a los elementos de seguridad, luego a los de control, después a los de confort y en último lugar los de accesorios.



Bocetos de diseño automotriz. Como puede observarse, estos bocetos están basados en la aeronáutica.

El diseño trata de ubicar los accionamientos del vehículo al alcance del conductor, para que este tenga fácil alcance, evitando las distracciones y evitando así situaciones de peligro.

Han sido muchos los componentes del automóvil que se han rediseñado para poder adaptarlos mejor a las personas y para que sean más seguros y más eficientes.

El diseño ergonómico del salpicadero y el grupo de pedales es muy importante, puesto que los elementos de mando, señalización e información deben estar al alcance del



conductor. Los mandos han de ser suaves en su accionamiento, tener fácil lectura y tener buen acceso. Por ejemplo, incorporando sobre el volante un mando que regula las funciones de la radio se evita que el conductor tenga que desplazar la vista y la mano hacia esta. Así pues, fueron motivos ergonómicos los que hicieron mover la mayoría de los controles al volante.

Para una conducción segura y controlada es muy importante la comodidad del asiento. Para conseguir un grado de comodidad en el asiento óptimo los fabricantes aportan soluciones como:

- Control del desplazamiento eléctrico.
- Regulación electrónica longitudinal, en altura y lumbar (memoria).
- Calefacción.
- Grado de solidez del cojín.
- Nivel de sujeción lateral y lumbar del respaldo, que deben evitar la fatiga.

Anteriormente, los coches estaban diseñados para un usuario de estatura y peso promedio. Actualmente las facilidades de ajustar, a través de los controles, los asientos, han facilitado la conducción, y además, ahora cualquier coche debería estar diseñado tanto para personas altas como de estatura media o bajas, incluso para personas con sobrepeso o muy delgadas, proporcionando un alto nivel de confort para la gran mayoría. La regulación electrónica del asiento permite ajustar en altura e inclinación el asiento y el respaldo, así como la cabecera, mediante interruptores situados generalmente en los revestimientos de las puertas o en los laterales del propio asiento. Además son capaces de memorizar varias posiciones.

Por lo general los asientos se fabrican con un diseño anatómico proporcionando confort a los pasajeros y sujeción lateral. Actualmente existen asientos con calefacción con la posibilidad de ser programados.



Accionamientos del asiento del coche Infiniti G37 Coupé

Los espejos retrovisores han sido motivo de investigación durante muchos años, y los resultados se pueden observar en su evolución. La regulación se realiza desde el interior del vehículo, al principio de forma manual, y desde hace un tiempo, mediante un accionamiento eléctrico. Ha desaparecido el llamado *ángulo muerto*. Asimismo la superficie ha crecido para que la capacidad de reflejar imágenes abarque un campo mayor, incorporando algunos modelos resistencias eléctricas para ofrecer una imagen clara independientemente de la climatología.

Incluso algunos coches, en la actualidad, están sustituyendo el retrovisor interior convencional por un sistema de vídeo digital que reproduce en alta definición todo lo que antes se veía en el espejo.



*Espejo retrovisor central con pantalla de alta definición usado por AUDI.*

A diferencia del antiguo sistema de limpiaparabrisas donde, al principio solo tenían una velocidad y luego le siguió un sistema de regulación de velocidades. El sistema actual de sensor de lluvia se encarga de regularlos de manera automática en función de la intensidad de la precipitación pluvial evitando que el conductor se distraiga para ajustar la frecuencia de barrido y manteniéndolo siempre con la vista al frente.



*Sensor de lluvia que acciona el limpiaparabrisas.*

La palanca de cambio de marcha ha sufrido cambios considerables en comparación con las primeras, ya que estaban un tanto alejadas del conductor y su forma de sujeción no era, en absoluto, ergonómica. En la actualidad el diseño se adapta completamente a la mano.

Los actuales sistemas de elevación de lunas nada tienen que ver con los iniciales. En principio el mecanismo era manual, y se subía o bajaba la ventana mediante una manivela. En la actualidad, y ya desde hace muchos años, el accionamiento es eléctrico. Este accionamiento debe situarse en un lugar que esté al alcance de las manos del conductor sin que éste tenga que desviar su vista de la carretera.



Panel de mandos de ventanas, puertas y retrovisores de Mercedes Benz.

El volante actual dispone de un sistema encargado de su regulación en altura, el cual se adapta al conductor, a diferencia de los volantes antiguos que solo tenían una posición. Actualmente el diámetro del volante, sus brazos y su diseño permiten tener una visión completa hacia el frente y hacia los indicadores situados en el tablero.



Volante moderno de Mercedes Benz.

Además de todo lo anterior, también los cinturones de seguridad pueden regularse en altura adaptándose de manera óptima a las medidas de cualquier ocupante.

El aire acondicionado reduce la temperatura y la humedad del aire dentro del vehículo





proporcionando un efecto de confort y manteniendo atentos a los ocupantes sin la fatiga que proporciona un ambiente caluroso, aumentando además el nivel de seguridad al llevar las ventanillas cerradas. El climatizador electrónico permite seleccionar la temperatura ideal manteniéndola en el habitáculo, debido a que funciona simultáneamente con la calefacción y mantiene el nivel de humedad óptimo. Los climatizadores se diseñan, actualmente, para que cada puesto del vehículo sea, ambientalmente, independiente.

Los sistemas *antisueño* son lo más novedoso. Uno de ellos detecta una excesiva relajación de las manos del conductor provocando con ello el accionamiento de una alarma, con lo cual toma nuevamente con firmeza el volante. En otros sistemas existe una cámara, la cual realiza una medición del grado de apertura de los ojos y la frecuencia del parpadeo, identifica las dimensiones de la cara y la posición de cada ojo, calcula su dimensión, así como la altura y la distancia con respecto a la cámara, con lo cual se calculan los parámetros necesarios para evaluar las imágenes registradas de cada conductor activándose al detectar una variación de parámetros considerable.



## 4. ANTROPOMETRÍA

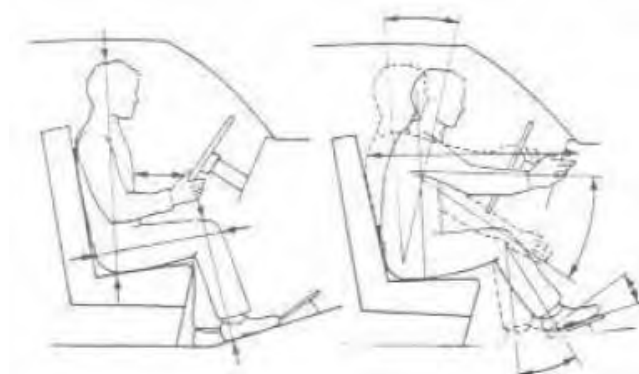
### 4.1. INTRODUCCIÓN A LA ANTROPOMETRÍA

El término *antropometría* **proviene del griego: hombre (άνθρωπος) y medida (μετρον)**. Se refiere al estudio de las dimensiones y medidas humanas.

Se considera a la antropometría como la ciencia que estudia las medidas del cuerpo humano con el fin de establecer diferencias entre individuos, sexo, edad, raza, sub-raza...

Las dimensiones del cuerpo humano varían de acuerdo al sexo, edad, raza, nivel socioeconómico... por lo que esta ciencia dedicada a investigar, recopilar y analizar estos datos, resulta una directriz en el diseño de los objetos y espacios arquitectónicos, al ser estos contenedores o prolongaciones del cuerpo y que por lo tanto, deben estar determinados por sus dimensiones.

Estas dimensiones son, esencialmente, de dos tipos: estructurales y funcionales. Las estructurales son las de la cabeza, troncos y extremidades en posiciones estándar. Mientras que las funcionales o dinámicas incluyen medidas tomadas durante el movimiento realizado por el cuerpo en actividades específicas. Al conocer estos datos se conocen los espacios mínimos que el hombre necesita para desenvolverse diariamente, los cuales deben de ser considerados en el diseño de su entorno.



Diferencia entre dimensiones estructurales (izquierda) y funcionales (derecha) comparadas en el contexto del diseño del puesto de conducción de un automóvil.

Se puede decir que esta ciencia encuentra su origen en el siglo XVIII en el desarrollo de estudios de antropometría racial comparativa por parte de antropólogos físicos; aunque no fue hasta 1870 cuando se considera su descubrimiento y estructuración científica, con la publicación de *Anthropométrie, ou Mesure des différentes facultés de l'homme*, del matemático belga Quételet. A partir de 1940, con la necesidad de datos antropométricos en la industria, específicamente la bélica y la aeronáutica, es cuando la antropometría se consolida y desarrolla, debido al contexto bélico mundial.

Aunque los estudios de antropometría racial comparativa no se iniciasen hasta el siglo XVIII y el término *antropometría* no fuese usado hasta el siglo XIX, las dimensiones del cuerpo humano ya se habían estudiado con anterioridad. El canon más antiguo acerca de las proporciones del hombre se encontró en una tumba de las pirámides de Menfis, unos 3000 años a.C. También son conocidos el canon del imperio de los faraones de la época de Ptolomeo, el de los griegos y el de los romanos, el célebre canon de Polícleto que durante mucho tiempo fue aceptado como modelo. En todos estos trabajos citados se mide el cuerpo humano, con unidades iguales al largo de la cabeza, de la cara, o del pie, que posteriormente se subdividen y se comparan unas con otras.

La primera normativa en materia de proporciones procede de Egipto, aplicaban el sistema modular de representación de la figura humana por medio de la cuadrícula. Se tiene conocimiento de la aplicación de tres cánones:

- El primero correspondía a la división en seis partes de la figura humana, cada una corresponde a la longitud de un pie.
- El segundo dividiendo el pie en tres partes, daba un total de 19 módulos.
- El tercero estaba constituido por la división de la figura humana en siete pies y por consiguiente en veintiún módulos.

Este sistema permite distribuir exactamente la posición de los hombros, la rodilla y las partes esenciales del cuerpo, pero determina un cuerpo rígido, que aparece inmóvil, incapaz para el movimiento.

El escultor griego Polícleto, del siglo V a.C., crea un concepto de lo bello y de lo proporcional a través de su famosa estatua *Doríforo* (portador de una lanza). En el canon de Polícleto las partes del cuerpo resultan divididas en siete unidades y media. Polícleto plantea en la teoría y en la práctica sus ideales de belleza, y en su *Doríforo* lo aplica. Esta obra representa a un joven atleta, portador de una lanza, cuya anatomía marca la proporción del canon de siete cabezas y media que determina la relación armónica de las partes con el todo y todas ellas entre sí.



Copia de la época romana en mármol del original en bronce del Doríforo de Polícleto.

Lisipo, escultor del siglo IV a.C., nació en Sicione, centro de la escuela de Polícleto. La obra básica para comprender el estilo de Lisipo es el Apoxiomeno, atleta que con un estrígilo se está limpiando el sudor, el polvo y la grasa después de un combate, sus proporciones corporales fijan la nueva concepción canónica de Lisipo. Sus estatuas, de hombres muy musculosos, tienen la cabeza más pequeña que de costumbre, ocupando solamente un octavo del cuerpo en vez de un séptimo, lo cual hace que la estatua se vea más alta. Lisipo alarga el canon de medida. Crea un nuevo canon de belleza masculino, el nuevo físico es más esbelto que el de Polícleto, la cabeza es ahora una octava parte del cuerpo, se presenta un alargamiento de las piernas y un menor volumen de la cabeza.



Copia de la época romana en mármol del original en bronce del Apoxiomeno de Lisipo.

En el siglo I a.C., Marco Vitruvio Polión, arquitecto, escritor, ingeniero y tradista romano, se interesó por las proporciones del cuerpo y sus implicaciones metrológicas, y las recogió en el tratado sobre arquitectura más antiguo que se conserva, *De Architectura*, escrito entre el 27 y el 23 a.C. En este tratado dice lo siguiente:

***"Pues el cuerpo humano es de tal manera diseñado por la naturaleza que la cara, desde el mentón hasta la parte superior de la cabeza y las raíces del cabello, es la décima parte de toda la altura; igual sucede con la mano abierta, desde la muñeca hasta la punta del dedo medio; la cabeza, desde el mentón hasta la corona, es un octavo; y con el cuello y hombro que, desde la parte superior del pecho hasta las raíces del cabello, es un sexto, y un cuarto, desde la mitad del pecho hasta la corona. Si tomamos la altura de la cara, desde el fondo del mentón hasta el orificio de las fosas nasales, es un tercio de la misma; otro tanto ocurre con la nariz, desde***

*sus orificios hasta una línea que pasa por la mitad de las cejas. La longitud del pie es un sexto de la altura del cuerpo; el antebrazo, un cuarto; y la anchura del pecho es también un cuarto. Los miembros restantes tienen igualmente sus propias proporciones simétricas y gracias a su utilización los pintores y escultores de la antigüedad alcanzaron grande y perdurable renombre."*

Vitruvio no solo estaba interesado en las proporciones del cuerpo, sino también por sus implicaciones metrológicas. Refiriéndose al diseño del templo griego dice:

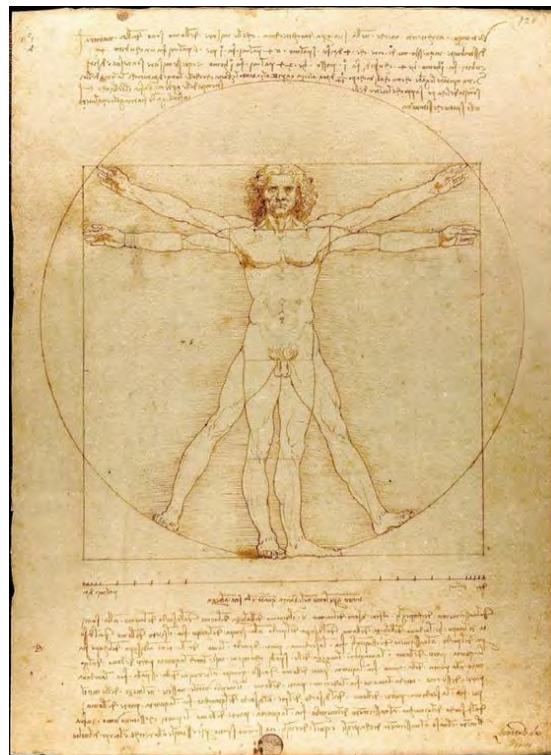
***"Por otra parte, ellos obtuvieron de los miembros del cuerpo humano las dimensiones proporcionadas que necesariamente aparecen en todos los trabajos constructivos, el dedo o pulgada, el palmo, el pie, el codo".***

El ejemplo más conocido del estudio de las medidas humanas es el de *El Hombre de Vitruvio* o *Canon de las proporciones humanas*, de Leonardo da Vinci (1452-1519), interpretado en una de sus famosas *sanguinas*. En este dibujo se recogen los principios clásicos de las proporciones ideales humanas que ya fueron enunciadas por Marco Vitruvio Polión en *De Architectura*. Proporciones ideales únicamente desde el punto de vista aristotélico, puesto que no coinciden con las proporciones reales del hombre actual.

*El Hombre de Vitruvio* no es sólo un famoso dibujo, sino que está acompañado de notas anatómicas que el propio autor, Leonardo da Vinci, realizó alrededor del año 1490 en uno de sus diarios. Este dibujo, representa una figura masculina desnuda en dos posiciones sobreimpresas de brazos y piernas e inscrita en un círculo y un cuadrado (*Ad quadratum*). Como se ha dicho anteriormente, se trata de un estudio de las proporciones del cuerpo humano, realizado a partir del escrito de Vitruvio. De acuerdo con las notas del propio Leonardo en *El Hombre de Vitruvio* se dan las siguientes relaciones:

- Una palma equivale al ancho de cuatro dedos.
- Un pie equivale al ancho de cuatro palmas (30,48 cm).
- Un antebrazo equivale al ancho de seis palmas.
- La altura de un hombre son cuatro antebrazos (24 palmas).
- Un paso es igual a un antebrazo.
- La longitud de los brazos extendidos (envergadura) de un hombre es igual a su altura.
- La distancia entre el nacimiento del pelo y la barbilla es un décimo de la altura de un hombre.
- La altura de la cabeza hasta la barbilla es un octavo de la altura de un hombre.
- La distancia entre el nacimiento del pelo a la parte superior del pecho es un séptimo de la altura de un hombre.
- La altura de la cabeza hasta el final de las costillas es un cuarto de la altura de un hombre.

- La anchura máxima de los hombros es un cuarto de la altura de un hombre.
- La distancia del codo al extremo de la mano es un quinto de la altura de un hombre.
- La distancia del codo a la axila es un octavo de la altura de un hombre.
- La longitud de la mano es un décimo de la altura de un hombre.
- La distancia de la barbilla a la nariz es un tercio de la longitud de la cara.
- La distancia entre el nacimiento del pelo y las cejas es un tercio de la longitud de la cara.
- La altura de la oreja es un tercio de la longitud de la cara.
- La distancia desde la planta del pie hasta debajo de la rodilla es la cuarta parte del hombre.
- La distancia desde debajo de la rodilla hasta el inicio de los genitales es la cuarta parte del hombre.
- El inicio de los genitales marca la mitad de la altura del hombre.

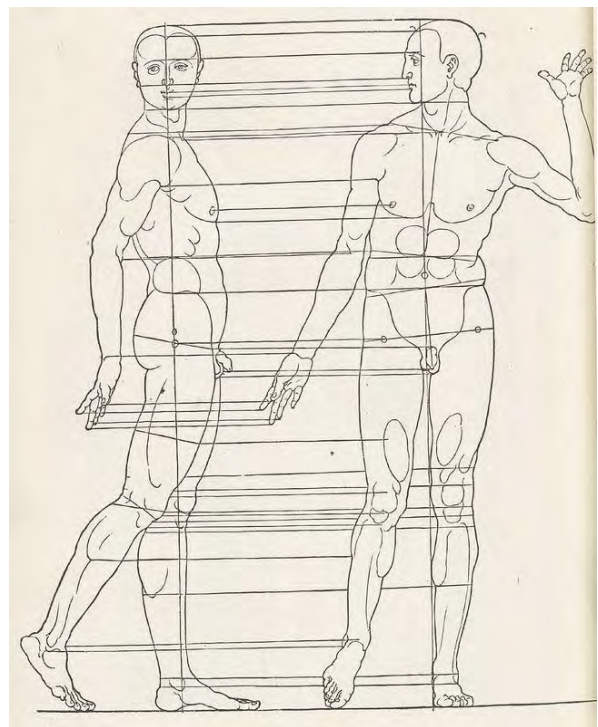
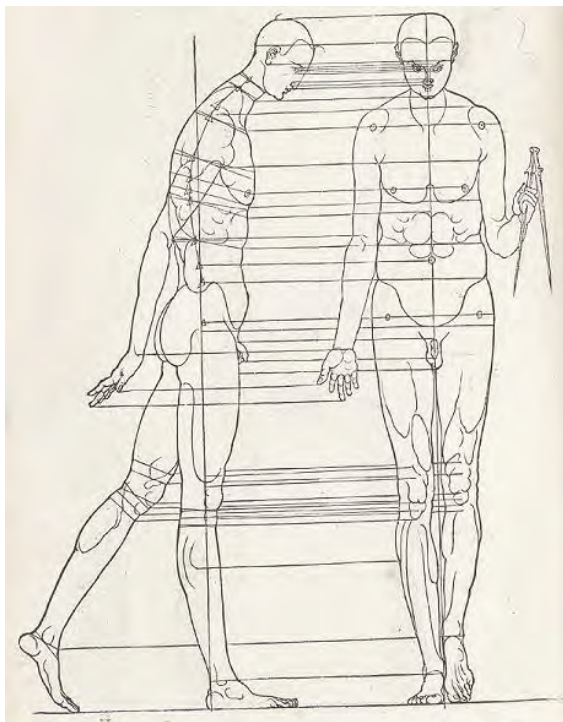


El hombre de Vitruvio, Leonardo da Vinci.

Alberto Durero (1471-1528), contemporáneo de Leonardo da Vinci, también tomó notas y realizó dibujos sobre las dimensiones humanas, desde aproximadamente 1507 hasta su muerte para su tratado más conocido, *Cuatro libros sobre las proporciones humanas*, publicado póstumamente en 1528. Estableciendo, según algunos ergonomistas como Pheasant, el origen de la antropometría científica.

En este tratado refleja lo siguiente: Los datos toman como unidad fundamental la altura (a) del hombre y esta se subdivide en fracciones en la siguiente forma:

- $1/2 a$  = altura de la cabeza y el tronco (hasta la horcajadura).
- $1/4 a$  = altura de la pierna desde el tobillo hasta la rodilla y distancia del mentón al ombligo.
- $1/6 a$  = longitud del pie.
- $1/8 a$  = altura de la cabeza, desde la cúspide hasta el borde inferior del mentón y distancia entre tetillas.
- $1/10 a$  = altura de la cara y ancho de la misma (incluyendo las orejas), longitud de la mano hasta la muñeca.
- $1/12 a$  = anchura de la cara a la altura del borde inferior de la nariz y grueso de la pantorrilla.
- Las subdivisiones llegan hasta  $1/40 a$ .



Imágenes de los Cuatro libros sobre la proporción humana, de Alberto Durero. Colección de la Biblioteca Nacional de Medicina de EE.UU.

El pintor quattrocentista italiano Botticelli también opinó sobre la proporcionalidad del ser humano basándose en su cuadro *El nacimiento de Venus*. Botticelli declaró que la distancia entre el pezón y el ombligo, entre las dos piernas y entre el ombligo y la ingle, tienen que ser todas iguales para obtener una figura completamente proporcionada.

En la Edad Media, Dionisio, monje de Phourna Agrapha, describió la altura del cuerpo humano como de nueve cabezas. Cennino Cennini, italiano del siglo XV, describió la altura del hombre como igual a su anchura con los brazos extendidos (envergadura).

Como ya se ha dicho, los orígenes de la antropometría física se remontan al siglo XVIII. Linneo, Buffon y White fueron los primeros en desarrollar una antropometría racial





comparativa. John Gibson y J. Bonomi, a mediados del siglo XIX, se encargaron de recomponer la figura de Vitruvio. El precursor en los trabajos antropométricos, fue el matemático belga Quételet, que en 1870 publicó *Anthropométrie, ou Mesure des différentes facultés de l'homme*, y a quien se le reconoce no sólo el descubrimiento y estructuración de esta ciencia, sino que también se le atribuye la citada denominación.

La antropometría cumple una función importante en el diseño industrial, en la industria de diseños de vestuario, en la ergonomía, en la biomecánica, en la arquitectura... donde se emplean datos estadísticos sobre la distribución de medidas corporales de la población para optimizar los productos. Por ello, la antropometría es una ciencia que se ha estudiado en muy diversos grupos, y en cada uno de estos grupos se ha estudiado de forma paralela a los demás, sin llegar nunca a encontrarse. Entre estos grupos se incluyen antropólogos, nutricionistas, médicos, esteticistas, ergonomistas, psicólogos, científicos del deporte, ingenieros, arquitectos...

En el caso que nos ocupa, nos centraremos en la antropometría vista desde el punto de vista del diseño industrial y la ergonomía. Uno de los aspectos más importantes que debe considerar el ingeniero o diseñador es la escala humana, pues es principalmente para el ser humano que diseñamos tanto los productos como las edificaciones. En el caso de la ergonomía, se puede decir que la antropometría es una de las áreas que la fundamentan, y trata con las medidas del cuerpo humano que se refieren a tamaño, forma, fuerza y capacidad de trabajo. En la ergonomía, los datos antropométricos son utilizados para diseñar los espacios de trabajo, herramientas, equipo de seguridad y protección personal, considerando las diferencias entre las características, capacidades y límites físicos del cuerpo humano.

La aplicación de la antropometría al diseño de equipos y elementos que deban ser utilizados por el ser humano es clara, no obstante, el progreso científico en esta dirección ha sido lento. Los primeros intentos consistentes y sistemáticos para desarrollar principios, recopilar datos y, sobre todo, aplicarlos, tuvieron lugar en la Segunda Guerra Mundial, especialmente en el desarrollo de ropa, máscaras de oxígeno y cabinas de aviones de combate. Posteriormente, en los últimos años de la década de 1940, se comenzaron a desarrollar estudios para aplicación de los datos antropométricos a la mejora de la seguridad en el uso de equipos civiles y militares, especialmente en automóviles, para conseguir un mejor acoplamiento del conductor con el vehículo. Sólo a partir de 1960, impulsado en gran medida por las Fuerzas Armadas de los EE.UU. y la OTAN se ha progresado de forma importante.

## 4.2. ERGONOMÍA BASADA EN LA ANTROPOMETRÍA

### 4.2.1. VARIABILIDAD DEL SER HUMANO

El ser humano presenta variaciones en cualquiera de sus características, incluidas las antropométricas. Esta variabilidad puede ser debida a causas externas al individuo, por ejemplo, tipo de actividad física que desarrolla, grado de nutrición (excesiva o deficitaria), clima al que está sujeto... Igualmente otras causas de origen hereditario o genético también afectan a sus dimensiones.

Existen diferencias manifiestas entre los diversos grupos de población. Las personas de diferente origen racial tienden a ser diferentes en determinados aspectos antropométricos, aunque estas diferencias están matizadas si se mantienen durante suficiente tiempo el mismo modo de vida. Asimismo, la procedencia geográfica, incluso dentro del mismo grupo racial puede ser importante. Por otro lado, incluso personas del mismo grupo de población dedicados a actividades diferentes presentan diferencias muy notables. Diferencias muy grandes pueden encontrarse entre poblaciones características respecto del conjunto de la población, especialmente en aquellas que están sujetas a entrenamiento físico, como puedan ser los bomberos.

Otra causa de variación importante puede ser debida al transcurso del tiempo, ya que las mismas poblaciones experimentan variación en determinadas características fisiológicas, incluidas las antropométricas. En el último siglo esta variación ha sido, en los países industrializados, en sentido de aumentar la estatura y el peso, así como las dimensiones relacionadas; en otros ámbitos la relación puede ser inversa.

Por último, la hora del día en la que se realizan las medidas puede afectar a éstas, especialmente a la estatura y otras dimensiones similares, que son mayores recién levantados de dormir y menores conforme va transcurriendo la jornada (la diferencia es de 1,3% aproximadamente). Para el peso y, probablemente, para las dimensiones relacionadas, ocurre lo contrario, es decir, es menor al levantarse, después del descanso diario, aumentando de 60 a 800 gr. (hasta un máximo del 2%) a lo largo del día.

Existe una diferencia manifiesta en las dimensiones antropométricas de las personas de ambos sexos, absolutamente importante cuando un mismo equipo debe ser manejado por hombres y mujeres indistintamente. Tradicionalmente, los datos antropométricos se han presentado siempre referidos a una población determinada y distinguiendo entre ambos sexos. La razón es obvia y está absolutamente justificada; sin embargo, desde el punto de vista ergonómico puede no tener sentido en muchos casos y, en otros, ser incluso contraproducente e indeseable.

Así pues, cualquier objeto que vaya a ser utilizado indistintamente por hombres y mujeres

debería estar diseñado de forma que satisfaga los requisitos de ambos. De esta forma, el uso de datos de mujeres o de hombres por separado sólo estaría justificado cuando la máquina, el equipo, el objeto o el puesto de trabajo de que se trate, vaya a ser utilizado exclusivamente por unos u otras.

#### 4.2.2. EMPLEO DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS

Generalmente a la hora de manejar una máquina, utilizar un equipo, vestir una ropa... es necesario desarrollar determinados movimientos. Por ello, la adaptación antropométrica de los mismos debería establecerse en relación a las medidas dinámicas (funcionales) del cuerpo humano. El cuerpo actúa, no de forma rígida sino realizando movimientos compuestos bastante complejos en donde entran en juego tanto los miembros como las articulaciones. El problema es que las medidas antropométricas dinámicas son complejas de realizar, y por tanto estos datos resultan muy caros. Por ello, salvo en determinadas aplicaciones muy concretas, se recurre a los datos antropométricos estáticos (estructurales) para el diseño ergonómico. El proyectista, cuando es necesario diseñar elementos cuya función es dinámica, debe suplir la ausencia de los deseables datos dinámicos, con datos antropométricos estáticos y emplear suplementos y cualquier otro sistema para conseguir el resultado requerido.

#### 4.2.3. ESTADÍSTICA: ANÁLISIS DE DATOS ANTROPOMÉTRICOS

La mayoría de las dimensiones del cuerpo humano, así como infinidad de otros parámetros biológicos, se distribuyen *Normalmente*, es decir, según la distribución de Gauss. Las distribuciones de las dimensiones antropométricas no suelen ser Normales puras. Si se combinan ambos sexos la distribución de la variable suele estar sesgada, bien hacia los valores menores de la distribución, caso de la estatura y dimensiones relacionadas con ella, bien hacia la derecha, por ejemplo en anchura de caderas o espesor del pecho. También en determinadas poblaciones occidentales suele presentarse un sesgo general hacia la derecha en dimensiones relacionadas con el peso.

Por todo esto, además de otras razones inherentes al uso que se suele dar a los datos antropométricos, los estadísticos más interesantes desde el punto de vista ergonómico son los percentiles. Por ejemplo el percentil 25 ( $P_{25}$ ), corresponde a un valor tal que comprende al 25% del conjunto de la población cuya distribución se considera; es decir, el 25% de los individuos de la población considerada tienen, para la variable de que se trate, un valor inferior o igual al  $P_{25}$  de esa variable. El  $P_{50}$  corresponde a la mediana de la población y, si ésta es Normal pura, también a la media y a la moda.

En general, para el diseño ergonómico, suelen tomarse como valores de referencia los percentiles  $P_5$  y  $P_{95}$ , y si está comprendida la seguridad del usuario, los percentiles  $P_1$  y  $P_{99}$ , lo que indica que, en cualquier caso, se proyectará para el 90% o el 98% de la

población que se prevé que utilice el objeto o sistema de que se trate. Así pues, los valores medios no son utilizables.

Utilizar los percentiles de las dimensiones que correspondan no es más que una forma adecuada de utilizar los datos antropométricos. Los criterios de diseño deben establecerse anteriormente, combinando las diferentes dimensiones anatómicas aplicables a cada caso, incluso algebraicamente, y, sólo al final, aplicar el valor resultante para obtener la dimensión adecuada.

Otro aspecto a tener en cuenta, es que no existe el hombre, o mujer, medio. No debe pensarse que porque alguien tenga una talla correspondiente con la talla media, el resto de sus medidas también coincidirán con las medias respectivas, ni siquiera aquellas que tengan una alta correlación con la estatura. Igualmente ocurre con el resto de percentiles. Por ello, cada dimensión debe considerarse independiente de las demás.

Como ejemplo de esto, existe un curioso trabajo de G. D. Daniels sobre la antropometría de 4063 empleados de las Fuerzas Aéreas Norteamericanas (Daniels, 1952), en el que aún considerando una medida como media por el hecho de pertenecer al 30% de la población más cercana de la media de esa dimensión, concluye que ninguno de los 4063 tenía diez dimensiones dentro de la media:

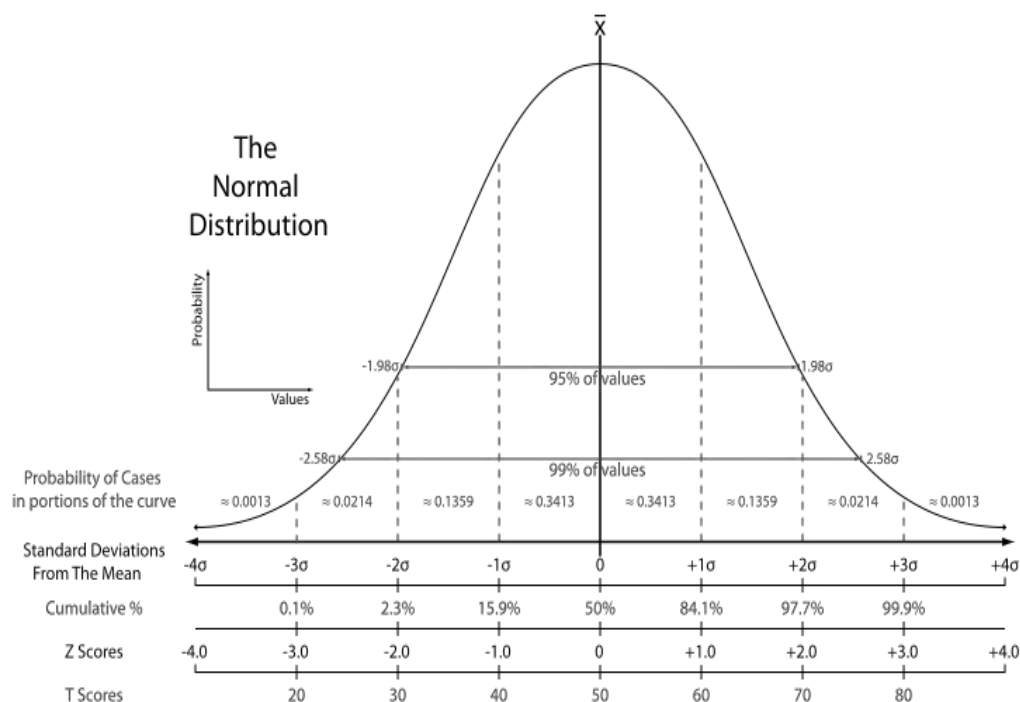
- De 4063 hombres, 1055 eran de estatura media.
- De esos 1055, 302 también tenían la circunferencia del pecho media.
- De los 302, 143 tenían la longitud del brazo media.
- De los 143, 73 tenían la altura del perineo media.
- De los 73, 28 tenían medio el perímetro de los hombros.
- De los 28, en solo 12 el perímetro de las caderas era medio.
- De los 12, solo en 6 era medio el perímetro del cuello.
- De los 6, 3 tenían el perímetro de la cintura medio.
- De los 3, 2 el de los muslos.
- De los 2, ninguno tenía la longitud perineal media.

### Distribución normal:

La distribución de probabilidad para variables continuas más importante es la distribución Normal, conocida también como distribución Gaussiana, y que viene definida por la siguiente ecuación:

$$y = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

donde  $x$  es su media aritmética y  $\sigma$  su desviación típica. Suele designarse por  $N(x,\sigma)$ .



Distribución Normal.

### Estadísticos:

Se denominan estadísticos aquellos valores numéricos, calculados a partir de los datos contenidos en una distribución que manifiestan características de ésta, y por tanto de la muestra a la que pertenecen.

Los estadísticos pueden representar características relativas al centrado de datos, a la forma de distribución, al tipo de distribución...

Los estadísticos existentes pueden clasificarse en cuatro grupos, según sean de posición, de dispersión, de asimetría o de curtosis o prominencia:

- Estadísticos de posición: Los estadísticos de posición son medidas centrales de los

datos cuya finalidad es representarlos a todos ellos. Entre los existentes, los más usuales son:

- Media aritmética: La suma de todos los datos dividido entre el número de datos. Se conoce como promedio.

$$x_{\text{med}} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)}{N}$$

- Moda: Es el valor que más se repite. Sirve para describir una distribución si sólo se desea tener una idea aproximada y rápida de donde está la mayor concentración de observaciones.
- Mediana: Es aquel valor que ocupa el lugar central, de modo que la mitad de los casos son mayores que ese valor y la otra mitad menores.

$$M_d = l_i + \frac{\left(\frac{N}{2} - F\right)}{f} * d$$

dónde:

F es el total de frecuencias anterior al intervalo  $l_i$

$l_i$  es el extremo inferior de dicho intervalo

d es la anchura o amplitud del intervalo

N es el número total de frecuencias

- Estadísticos de dispersión: La dispersión o variación de los datos intenta dar una idea de lo esparcidos que se encuentran estos con respecto al valor medio. Los de mayor interés dentro del estudio de la variabilidad humana son:

- Rango o recorrido: Es el campo de variación de una variable. Es la diferencia entre el mayor y el menor de los valores encontrados.

$$Rango = x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}}$$

- Rango percentil ( $P_x$ ): Corresponde a un valor tal que comprende al x% del conjunto de la población cuya distribución se considera.
- Desviación media: Corresponde a la diferencia numérica entre una medida individual o número y la media aritmética de una serie completa de tales medidas o números.
- Desviación típica: Es una medida de dispersión que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio en una distribución. De hecho, específicamente, la desviación típica es "el promedio de la distancia de cada punto respecto del promedio".

$$\sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}}$$

- Estadísticos de asimetría:
  - Momento de tercer orden: Es el parámetro a partir del cual se controla la asimetría de una distribución de datos, es decir, si existen o no observaciones muy extremas en algún sentido con frecuencias razonablemente altas. Si la asimetría es negativa, la variable toma valores muy bajos con mayor frecuencia que valores muy altos y se dice que tiene una cola izquierda pesada o que es asimétrica hacia la izquierda. Si la asimetría es positiva, la variable toma valores muy altos con mayor frecuencia que valores muy bajos y se dice que tiene una cola derecha pesada o que es asimétrica hacia la derecha. Si la asimetría es cero, los valores bajos y altos de la variable tienen probabilidades iguales.
- Estadísticos de curtosis o apuntamiento:
  - Momento de cuarto orden: Este parámetro mide la curtosis de la distribución, es decir, la forma de la distribución de probabilidad. Al representar gráficamente variables con curtosis pequeña, platicúrticas, se observan curvas o histogramas con colas cortas y aspecto aplanado o en meseta. Si la variable tiene curtosis grande, es decir, si es leptocúrtica, su gráfica será alta y estilizada, con colas largas y pesadas.

#### 4.2.4. PRINCIPIOS ANTROPOMÉTRICOS A CONSIDERAR

Damon *et al.* (1971), establecieron unos principios antropométricos a considerar en el proyecto de equipos, y que son los siguientes<sup>1</sup>:

- Tengase en cuenta al usuario/operador; regla fundamental que de ser practicada facilita todo lo demás.
- Tengase en cuenta al principio. El cuerpo humano, sus características y limitaciones, debe estar presente desde las primeras etapas de especificación y planificación del proyecto.
- El usuario actúa. No se trata de un maniquí estático. Puede utilizar ropa o equipo voluminoso y tener que ejecutar movimientos complejos o permanecer en posturas raras. Necesitará un campo visual adecuado, dentro y fuera de su espacio de trabajo. Debe permitírsele ejecutar su tarea de forma segura, eficiente y cómoda.

---

<sup>1</sup> Adaptados y actualizados por Antonio Carmona Benjumea.



- Los posibles usuarios son diferentes, en tamaño y en capacidad física. La edad, el sexo y el tipo de ocupación suelen afectar a las dimensiones del cuerpo y a su capacidad. El grupo de usuarios para los que se prevé puede ser muy diferente de aquel o aquellos de los que se disponen de datos antropométricos. Incluso dentro del mismo grupo, los individuos pueden ser bastante diferentes. Hasta donde sea posible la magnitud de estas diferencias, entre diferentes grupos y dentro de cada grupo, debe ser evaluada mediante verificación directa.
- Prever amplios márgenes de seguridad, tanto para los usuarios como para el equipo; ambos pueden ser sometidos a demandas anormales y la adaptación psicomotora posible en el laboratorio o en la oficina de proyectos puede fallar en la práctica, especialmente en emergencias o en situaciones inesperadas.
- Evaluar la adaptación del usuario en condiciones reales, con el equipo al completo. Las personas de diferente tamaño, especialmente las de tamaño extremo en uno u otro sentido, deberían probar las máquinas y los equipos en condiciones lo más parecidas posibles a la realidad. Debe consultarse a personas experimentadas y físicamente representativas del usuario previsto, tanto al establecer las especificaciones de diseño, como durante el desarrollo del proyecto. Nada puede sustituir a una colaboración estrecha entre el proyectista y el usuario a lo largo de todo el proceso de diseño y proyecto. Una vez puesto en funcionamiento el equipo, debe continuar la vigilancia de la relación entre éste y el usuario, de forma que pueda detectarse cuanto antes posibles fallos de diseño y corregirlos adecuadamente.
- A veces los problemas vienen provocados por detalles aparentemente poco importantes, a pesar de que en conjunto el diseño sea adecuado. En estos casos, pequeñas correcciones suelen ser suficiente.

#### 4.2.5. DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS

Como ya se ha indicado con anterioridad, a pesar de que las dimensiones antropométricas de aplicación en ergonomía suelen ser dimensiones dinámicas, relacionadas con la postura y el movimiento del usuario, por razones justificadas de economía de medios y tiempo, éstas no suelen medirse ni estar a disposición del proyectista. Sólo en determinadas circunstancias se recurre a establecer estas dimensiones (diseño de cabinas de aviones y automóviles), especialmente en alcances de manos y pies.

Para usos concretos, además de las dimensiones antropométricas generales, suelen ser necesarias medidas estáticas de segmentos específicos del cuerpo. Por ejemplo, de la mano, de la cabeza, del pie...

Problemas metodológicos: Dependiendo del objetivo previsto, un estudio antropométrico puede ser llevado a cabo de dos maneras diferentes:



- Recogida de datos sobre un número pequeño de individuos, que son medidos varias veces a lo largo de un periodo de tiempo determinado, proporcionando datos longitudinales, útiles para estudios sobre el crecimiento, efectos de la nutrición, etc. de la población representada por la muestra.
- Recogida de datos sobre un número grande de individuos, medidos una sola vez y que, generalmente, representan a una población numerosa, durante un periodo de tiempo lo más corto posible. Estos datos se llaman *transversales*, y proporcionan una imagen instantánea de la población.

La selección de una muestra representativa para un estudio antropométrico es esencial para que el estudio tenga la bondad y utilidad esperadas.

Además, los datos de un estudio antropométrico deben ser comparables con los obtenidos, para la misma población en otro tiempo, o con los de otras poblaciones obtenidos en la misma o similar época.

La precisión de la medida necesaria depende del uso previsto. Mayor precisión requiere más tiempo y más dinero, y no siempre es fundamental conseguir datos absolutamente precisos.

Otros aspectos metodológicos fundamentales son la necesidad de un entrenamiento adecuado de las personas que van a realizar las medidas, la verificación de los instrumentos de medida y la documentación auxiliar a emplear en el registro de los datos.

El tratamiento de los datos, una vez obtenidos, es actualmente un aspecto poco problemático, gracias a los instrumentos informáticos disponibles, pero en otro tiempo absorbían una gran cantidad de tiempo y de recursos.

En resumen, antes de plantear cualquier estudio antropométrico conviene meditar:

- El uso para el que van a destinarse los datos obtenidos.
- La población objeto del estudio.
- El tamaño mínimo de la muestra necesaria.
- El procedimiento de muestreo.
- El procedimiento a emplear para reclutar a los sujetos que deben formar parte de la muestra.
- Las dimensiones a medir.
- Los instrumentos de medida a utilizar.
- La precisión o incertidumbre de medida máxima admisible.
- El aparato estadístico a utilizar en el cómputo de los datos.

## 4.3. APLICACIÓN AL DISEÑO

### 4.3.1. APLICACIÓN AL DISEÑO Y PROYECTO DE MÁQUINAS

En general, el primer aspecto a destacar en el proyecto de máquinas (referido a máquinas que se utilizan para la actividad industrial o similares), desde el punto de vista ergonómico y antropométrico es pretender adaptar aquellos aspectos geométricos de las máquinas que influirán en su preparación, manejo, mantenimiento, limpieza, carga y descarga de materia prima, productos o elementos sobre los que va a actuar la máquina y las características del usuario/operador. Una segunda aplicación es para evitar que el usuario/operador pueda acceder a puntos o zonas de la máquina que puedan resultar peligrosas, es decir, para establecer distancias de seguridad, o resguardos, defensas u obstáculos.

Unos principios que pueden considerarse generales, para el diseño de máquinas, son los siguientes:

- Establecer la posición en la que el usuario ha de manejar la carga: debe preferirse una postura erguida y enfrentada a la máquina, mejor si se puede alternar de pie y sentado a voluntad. Para trabajos ligeros y precisos es preferible estar sentado. Para trabajos donde sea necesario el empleo de la fuerza será mejor estar de pie. Siempre es necesario prever en las partes bajas de la máquina espacio libre para las piernas y pies.
- Los puntos de la máquina que hayan de ser controlados han de estar dentro del campo de visión, en la postura referida y permitiendo que la cabeza permanezca erguida o ligeramente inclinada hacia delante.
- Las zonas donde se vayan a realizar actividades con las manos, si va a ser continua o muy frecuente, no debe preverse por encima del nivel aproximado del corazón. El punto de operación se situará aún más bajo si es necesario ejercer fuerza. Para trabajos ligeros y de precisión han de establecerse apoyos para los brazos.
- Cuando deban actuar las articulaciones de los miembros, se proyectará la tarea para que aquellas funcionen a la mitad de su amplitud, especialmente si se trata de la cabeza, el tronco y los brazos. Si es necesario ejercer una fuerza repetitivamente, debe preverse que puedan utilizarse las manos o los pies, indistintamente y sin necesidad de adaptaciones o ajustes de la máquina.
- Es necesario garantizar el acceso a las partes internas de la máquina, con el objeto de poder realizar correctamente las tareas de inspección, preparación, mantenimiento... Siempre hay que considerar, para ello, las mayores dimensiones de las medidas antropométricas pertinentes de la población de usuarios prevista ( $P_{95}$  y  $P_{99}$  si se espera que haya que acceder o salir en situaciones de emergencia o

si la seguridad durante el acceso y permanencia en el interior pueda verse comprometida). Añadir a estas medidas los suplementos adecuados para permitir el uso de herramientas, EPIs, ropa o calzado especial y cualquier otra circunstancia previsible.

Las normas europeas UNE EN 547-1:1997, UNE EN 547-2:1997 y UNE EN 547-3:1997 incluyen una serie de recomendaciones para el proyecto ergonómico, en lo que se refiere en sus aspectos antropométricos.

Las dimensiones antropométricas que se consideran de necesario conocimiento y utilización, son las siguientes:

- Altura del tobillo.
- Anchura entre codos.
- Anchura de la mano, incluido el pulgar.
- Anchura de la mano en el metacarpo.
- Anchura proximal del índice.
- Anchura del pie.
- Espesor de la mano en la palma.
- Espesor de la mano a la altura del pulgar.
- Longitud del pie.
- Longitud de la cabeza (punta de nariz-polo posterior del cráneo).
- Diámetro del brazo.
- Diámetro del antebrazo.
- Diámetro del puño.
- Longitud funcional del brazo.
- Alcance del antebrazo.
- Alcance lateral del brazo.
- Longitud de la mano.
- Longitud de la mano hasta la base del pulgar.
- Longitud del dedo índice.

#### 4.3.2. APLICACIÓN AL DISEÑO Y PROYECTO DE PUESTOS DE TRABAJO

El puesto de trabajo es el espacio concreto donde el trabajador desarrolla su actividad y en el que están presentes y, por tanto, influyen sobre el trabajador, la organización de la actividad, la propia tarea a realizar, el mobiliario en sentido amplio y las condiciones ambientales donde el trabajo se lleva a cabo.

Una de las primeras aportaciones en este campo la proporcionó Maynard en 1934, que presentó el concepto de área de trabajo normal y máxima, aunque sin aportar datos. Posteriormente se sucedieron otras aportaciones, incluyendo los datos necesarios para

facilitar el diseño. Siempre considerando que la zona de trabajo viene dada por el volumen comprendido entre los lugares geométricos de los puntos a donde llega la mano, bien con el antebrazo pivotando sobre el codo pegado al cuerpo, alcance normal, o con el antebrazo pivotando sobre el hombro, alcance máximo. Squires, en 1956, muestra como estos alcances se incrementan al considerar el movimiento adicional del codo, estableciendo incluso unas ecuaciones paramétricas para ello. Más tarde, Wisner y Rebiffe, en 1963, además de describir un método para enfocar sistemáticamente el problema, establecen unos esquemas de funcionamiento de determinados segmentos del cuerpo humano en relación con determinadas actividades y con las correspondientes medidas antropométricas, estáticas y dinámicas. Gedliczka, en 1978, aporta un método, basado en una pared construida con paralelepípedos de madera que pueden deslizarse desde delante hacia atrás y viceversa, de forma que se pueda construir fácilmente una especie de molde tridimensional cuya profundidad en cada punto corresponde al alcance máximo de la persona que actúa como modelo y que, lógicamente, deberá ser representativa en cuanto a dimensiones de la población usuaria. En cualquier caso, el uso de maquetas o maniquíes es muy recomendado para las primeras fases del diseño de máquinas o puestos de trabajo. A partir de estos estudios iniciales y gracias a muy numerosas aportaciones, se ha desarrollado una doctrina suficientemente amplia para que no exista problema a la hora de establecer las especificaciones de diseño de puestos de trabajo.

En líneas generales, Das y Grady, en 1983, siguiendo a Tichauer, proponen las siguientes recomendaciones para determinar las dimensiones del puesto de trabajo:

- Considerar las medidas del cuerpo, así como el esfuerzo necesario para el movimiento de los elementos involucrados en la tarea.
- Tener en cuenta el rango de medidas de la población específica de usuarios que van a desarrollar las tareas previstas.
- Reconocer las diferencias de sexo, grupos étnicos y otros factores diferenciadores, ya que afectarán a la habilidad para realizar la tarea.
- Determinar, mediante análisis biomecánico adecuado, la posición óptima del operador respecto de los mandos del equipo.
- Prever la máxima libertad de movimientos, especialmente si se trata de tareas repetitivas.
- Evitar situaciones que exijan ponerse de puntillas o ejercer torsiones o flexiones laterales del cuerpo.
- Evitar que la tarea deba ejecutarse en una franja de 7 a 8 cm. a lo largo de la superficie de trabajo próxima al operador.

En general, para el diseño de puestos de trabajo sólo se consideran los percentiles  $P_5$  y  $P_{95}$  de cada una de las dimensiones implicadas, es decir, válidos para el 90% de la población a quien van dirigidos. No obstante, en casos especiales de usuarios de dimensiones

diferentes a las indicadas, deberían adaptarse al usuario en concreto.

Como compendio sobre el estado del arte en este campo (aunque centrados en puestos de trabajo en máquinas) cabe citar los trabajos del CEN/TC 122/WG 1.

Las dimensiones que se consideran útiles para el diseño de puestos de trabajo son las siguientes:

- Anchura de hombros, biacromial.
- Anchura de caderas, sentado.
- Alcance máximo horizontal (puño cerrado).
- Profundidad abdominal, sentado.
- Espesor del muslo, sentado.
- Longitud rodilla-trasero.
- Longitud del pie.
- Diámetro del brazo (longitud fija, 121 mm.).
- Estatura (altura total).
- Altura del codo.
- Altura de la entrepierna.
- Altura del tobillo (valor fijo, 96 mm.).
- Altura sentado.
- Altura de los ojos, sentado.
- Altura de los hombros, sentado.
- Longitud de la pierna (altura del poplíteo).
- Altura del puño, sentado, a partir del asiento (valor fijo, 50 mm.).
- Distancia funcional de alcance del antebrazo.

definidas todas ellas en la norma UNE EN ISO 7250:1998 o valores fijos definidos en la UNE EN 547-3:1997.

Para el ejemplo del diseño de un asiento, la norma UNE EN ISO 9241-5:1999 asocia propiedades de diseño y dimensiones antropométricas de la siguiente forma:

PROPIEDAD DE DISEÑO	PARÁMETROS DE REFERENCIA ASOCIADOS
Altura del asiento	Altura del poplíteo en posición sentada
Profundidad del asiento	Longitud poplíteo-trasero
Anchura del asiento	Anchura máxima de caderas
Respaldo	Altura de la región lumbar media respecto al plano del asiento

### 4.3.3. APLICACIÓN AL DISEÑO Y PROYECTO DE HERRAMIENTAS MANUALES

En términos generales las herramientas manuales son prolongaciones de la mano del usuario, proyectadas y construidas para realizar determinadas operaciones elementales. A veces son dotadas de pequeños motores eléctricos para aumentar su potencia y evitar esfuerzos por parte del usuario.

Existen varios factores fundamentales que deben ser tenidos en cuenta a la hora de proyectar, con perspectiva ergonómica, una herramienta: la carga estática que va a provocar su empleo en los brazos y hombros del usuario, la posible postura inadecuada de la mano, la presión a ejercer por los dedos y la palma de la mano y el riesgo de pellizco, cuando se trata de herramienta tipo alicate o tijera. Si la herramienta lleva un motor, hay que considerar asimismo el ruido y las vibraciones transmitidas a la mano y el brazo.

A la hora de fijar los criterios correspondientes, hay que establecer en primer lugar las especificaciones biomecánicas y después conjugarlas con las antropométricas. Las dimensiones de los mangos y empuñaduras estarán adaptadas a la anchura y longitud de la mano (preferiblemente, el mango debe sobresalir del puño, para evitar una presión excesiva en los tejidos de la palma de la mano), a la amplitud de movimientos necesaria, ajustada a la amplitud máxima de rotación de la articulación corporal pertinente, muñeca, codo u hombro, al eje de trabajo de la herramienta, que debe ser prolongación del eje natural del segmento mano-brazo. Conviene también saber si la herramienta va a ser utilizada con guantes.

En líneas generales, la empuñadura sobresale de la mano cerrada y la sección transversal de la empuñadura tiene forma aproximada de ovoide, más ancha detrás, y más delgada en la parte en contacto con los dedos. El eje de la empuñadura y el eje de trabajo de la herramienta forman un ángulo, comprendido entre los 100° y los 110°, tal que permite que el eje de trabajo sea una prolongación del eje natural mano-brazo.

Las dimensiones consideradas fundamentales para el diseño es la anchura de la mano en el metacarpo y la anchura de la mano incluyendo el pulgar cerrado, estableciendo tres tamaños de empuñadura, grande para los percentiles  $P_{50}$  a  $P_{95}$  de hombres, mediana, para los percentiles  $P_5$  a  $P_{50}$  de hombres y  $P_{50}$  a  $P_{95}$  de mujeres, y pequeña, para percentiles  $P_5$  a  $P_{50}$  de mujeres.

### 4.3.4. APLICACIÓN AL DISEÑO Y PROYECTO DE MOBILIARIO

Se entiende por mobiliario el conjunto de enseres móviles que se utilizan para facilitar la actividad o el reposo de las personas y proporcionarle un aprovechamiento adecuado del espacio disponible.

El asiento es, probablemente, el mueble más importante. Procura apoyo y sostén al

cuerpo, evitando la fatiga y todos los trastornos derivados de la bipedestación prolongada.

Aunque las dimensiones del asiento y su adaptación a las medidas antropométricas de los usuarios es fundamental, el origen del diseño debe ser biomecánico: el mantenimiento prolongado de una mala postura es causa, primero de fatiga muscular, después, de dolor y, en última instancia, tras largo periodo, de deformaciones y otras anormalidades. No obstante, diversos estudios, como los de Floyd y Roberts en 1958, han puesto de manifiesto que, cuando se está sentado, bastan unos pequeños cambios en la postura, tales como ligeras flexiones o extensiones del tronco o alteraciones del ángulo de la rodilla cuando el pie está apoyado en el suelo, para obtener como resultado cambios importantes en la actividad de los músculos del tronco y piernas de forma que, por ejemplo, disminuye la actividad de los músculos erectores de la columna vertebral. Así pues, el asiento debe proporcionar una postura compatible con los requisitos anatómicos y fisiológicos del usuario y permitirle cambiarla a voluntad.

Otro requisito fundamental del asiento es que proporcione un reparto equilibrado de la presión sobre su superficie de apoyo, con un máximo en la zona en contacto con las tuberosidades isquiales, disminuyendo progresivamente en todas direcciones hasta hacerse mínima en el confín de los muslos. No debe existir presión en la zona adyacente al poplíteo para evitar compresión de los tejidos blandos de la pierna y en los vasos y nervios que pasan por esa zona.

Por último, es deseable que el tronco permanezca estable durante el periodo sedente, lo que se consigue mediante el respaldo adecuado, que también contribuye a eliminar parte del peso que, en otro caso, recaería sobre la zona de asiento propiamente dicha. La función del respaldo puede mejorarse, si la actividad a desarrollar estando sentado lo permite, dotando a la silla de reposabrazos.

Es preferible que las sillas admitan regulación en altura, si eso no es posible, hay que establecer la altura con respecto al  $P_5$  de la altura del poplíteo, para evitar que las personas de menor talla estén sometidas a presión en la zona adyacente a la corva; aunque las personas altas estarán con las piernas encogidas. Otra opción es diseñar para  $P_{95}$  y utilizar la silla con reposapiés.

La anchura del asiento debe estar en relación con la anchura de las caderas en posición sentada ( $P_{95}$  como mínimo), y tener en cuenta suplementos adecuados para permitir el movimiento. Su profundidad está en relación con la longitud rodilla-trasero ( $P_5$ ), ya que la condición más desfavorable es, como se ha dicho, la presión sobre la cara interna del muslo en la zona adyacente al poplíteo.

Para el adecuado diseño de una silla, es necesario tener en cuenta las dimensiones antropométricas siguientes:

DIMENSIÓN	APLICACIÓN	OBSERVACIONES
Altura nuca-asiento	Altura de reposacabezas	La dimensión normalizada es la altura cervical (altura de la apófisis espinosa de la séptima vértebra cervical).
Altura de hombros	Altura del respaldo	-
Altura del codo, sentado	Altura del reposabrazos	-
Altura lumbar	Convexidad del respaldo	Dimensión no normalizada y difícil de obtener al no poder contar con referencias óseas precisas.
Altura del poplíteo	Altura del plano del asiento	-
Longitud rodilla-trasero	Profundidad efectiva del asiento	-
Anchura de hombros	Anchura del respaldo	La dimensión normalizada es la comprendida entre ambos acromiones.
Distancia entre codos	Separación de los reposabrazos	-
Anchura de las caderas, sentado	Anchura del asiento	-

Si se trata de sillas, o sillones, para el descanso, los criterios biomecánicos de diseño son similares a lo descrito. Ciertamente se procuran unas dimensiones e inclinación del respaldo algo mayores, puesto que se pretende aumentar la comodidad del asiento e, incluso favorecer una cierta relajación muscular. Al contrario que en los asientos para actividad, no existen criterios universalmente aceptados de carácter antropométrico para asientos de descanso.



## 4.4. DATOS ANTROPOMÉTRICOS

### 4.4.1. INTRODUCCIÓN Y ORIGEN DE LOS DATOS

El disponer de datos antropométricos de una población determinada, para su aplicación al diseño de equipos y dispositivos que hayan de ser empleados por las personas que la componen, es esencial para que estos elementos estén convenientemente adaptados al uso que se espere de ellos. La adaptación ergonómica a los usuarios potenciales no solo contribuye a su eficacia funcional sino también a incrementar la seguridad y el bienestar de estos usuarios.

El estudio del que se han obtenido los datos que se exponen en este capítulo, responde al desarrollo del proyecto nacional INSHT/PN 543, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Entre sus objetivos se encuentran el desarrollar un método para la obtención de datos antropométricos de la población laboral española, de acuerdo con los criterios más autorizados y, en particular, con las recomendaciones incluidas en la norma internacional UNE EN ISO 7250:1998 y, consecuentemente, el establecimiento de una base de datos antropométricos de la población laboral española.

Los datos han sido obtenidos del libro *Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial*. Del Apéndice I. Libro escrito por Antonio Carmona Benjumea, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

Los datos que se ofrecen son perfectamente utilizables ya que han sido sometidos al tratamiento apropiado y contrastados con otras bases de datos internacionales e, incluso, utilizados para contribuir a elaborar la información contenida en las normas internacionales UNE EN ISO 7250:1998 y UNE EN 547-3:1997.

La fase correspondiente a la medición de las diferentes dimensiones antropométricas seleccionadas ha sido llevada a cabo con la valiosa colaboración de miembros del propio Instituto y de los Organismos homólogos de diferentes Comunidades Autónomas, especialmente representadas por los Gabinetes y Centros de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Castellón, Madrid, Murcia, León, Oviedo, Santa Cruz de Tenerife y Zaragoza, en donde, junto al Centro Nacional de Medios de Protección (CNMP) del INSHT, en Sevilla, se han efectuado las medidas. El autor de este informe ha sido el responsable de su diseño, organización, desarrollo y explotación.

Las medidas fueron tomadas durante un período de tiempo comprendido entre junio de 1991 y diciembre de 1996. Durante 1997 y 1998 se efectuó un proceso de verificación y análisis estadístico que se estima apropiado. En febrero de 1999 se establecieron los resultados definitivos.

#### 4.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN Y DE LA MUESTRA OBTENIDA

##### Población objeto del estudio:

El universo estadístico está formado por la llamada Población Ocupada de España, al considerar que es el grupo que mejor representa, dentro de aquellos para los que se dispone de datos estadísticos, a la población laboral.

Esta Población, de acuerdo con la información correspondiente a 1996 estaba formada por:

- Población Ocupada: 12.396.000
- Hombres: 8.068.800, equivalente al 65'09% del total
- Mujeres 4.372.200, equivalente al 34'90% del total

##### Muestra representativa de la población objeto del estudio:

La estrategia de muestreo seguida se ha establecido teniendo en cuenta las hipótesis siguientes:

- La Población Ocupada española se considera homogénea y formada por personas de los dos sexos, en la proporción real que ha quedado indicada más arriba. Se estima que las posibles diferencias debidas a la procedencia geográfica o lugar de residencia, profesión, nivel de estudios, edad... quedarán suficientemente representadas en la muestra por la estratificación a que ha sido sometida, proceso que se describe más adelante. Aunque es obvio que, desde el punto de vista antropológico podrían existir estas diferencias, los objetivos del estudio y el uso para el que se prevén los datos obtenidos hacen perfectamente admisibles estas hipótesis de partida. Las indudables diferencias debidas al sexo se asumen por definición.
- La distribución de frecuencias de cada variable, es decir de cada una de las dimensiones antropométricas a medir, se distribuye cuasi normalmente.
- El tamaño de la muestra se ha establecido de forma que el semiintervalo de confianza ( $=0.05$ ) de la media de las distribuciones de las variables más significativas, sea superior a las incertidumbres derivadas del método y de los instrumentos de medida.
- Para obtener una representatividad adecuada respecto de la población, la muestra se estratificó a priori, atendiendo a los criterios de sexo, edad y lugar de residencia. Para ello, se procedió a dividir España en siete zonas geográficas; para cada una de estas zonas, partiendo de los datos provinciales, se estimó la población ocupada, y la proporción de hombres y mujeres contenidas en ella, de forma que se obtuvo la distribución de proporciones teóricas de sujetos a medir.

Los puntos o centros de medida, Oviedo, León, Zaragoza, Castellón, Madrid, Murcia,

Sevilla y Santa Cruz de Tenerife, se eligieron atendiendo a su situación geográfica y a las posibilidades reales de los diferentes Gabinetes y Centros de Seguridad e Higiene en el Trabajo para colaborar en esta tarea durante el tiempo que se previó necesario.

Igualmente, dentro de cada centro de medida, se estableció la proporción de sujetos de cada sexo y grupo de edad, comprendidos entre 16 y 65 años y agrupados de cinco en cinco años, en función de la proporción relativa de cada uno de ellos en la población ocupada española.

- Los individuos que forman la muestra son personas sanas, normalmente constituidas y extraídas de entre las que asistieron, en el intervalo de tiempo indicado, a los reconocimientos médicos periódicos practicados en los Gabinetes y Centros de Seguridad e Higiene en el Trabajo referidos. La selección, dentro de los requisitos impuestos, se realizó al azar.

#### Características de la muestra:

El conjunto de la muestra ha resultado ser de 1723 personas, de las que 1130 son hombres y 593 mujeres, representativa de la proporción que ambos sexos tienen en la población ocupada. En la siguiente tabla se muestran los estratos por sexo y edad y su proporción respectiva con relación al total de hombres y mujeres.

<b>GRUPO DE EDAD (años)</b>	<b>MUJERES</b>	<b>HOMBRES</b>	<b>TOTAL</b>
16-19	2,84	2,96	5,80
20-24	6,50	7,49	13,99
25-29	6,67	8,94	15,61
30-34	4,53	8,42	12,95
35-39	3,83	7,84	11,67
40-44	3,02	7,37	10,39
45-49	2,26	6,62	8,88
50-54	1,51	6,21	7,72
55-59	2,09	5,75	7,84
60-65	1,16	4,00	5,16
<b>TOTALES</b>	<b>34,42</b>	<b>65,58</b>	<b>100,00</b>

En lo que se refiere a la procedencia geográfica, en la siguiente tabla se muestran los porcentajes de personas de la muestra que han sido medidas en los diferentes centros de medida. En estos porcentajes la incidencia de mujeres y hombres mantienen, aproximadamente, las proporciones de sexos y de edades indicadas anteriormente.

CIUDAD	PORCENTAJE
CASTELLÓN	7,4
MURCIA	17,9
MADRID	16,3
ZARAGOZA	12,6
LEÓN	8,4
OVIEDO	11,4
S.C. de TENERIFE	8,7
SEVILLA	17,2
TOTAL	100,0

#### 4.4.3. DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS CONSIDERADAS

A continuación se relacionan las dimensiones antropométricas medidas, junto con una breve definición de cada una de ellas.

- Masa corporal: Masa (peso) total del cuerpo.
- Estatura (Altura total del individuo): Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al punto más alto de la cabeza.
- Altura de los ojos: Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al vértice interno de los ojos.
- Altura de los hombros: Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al punto más elevado del acromion.
- Altura del codo: Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al punto óseo más bajo del codo flexionado.
- Altura de la espina ilíaca: Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) a la espina ilíaca antero-superior.
- Altura de la tibia: Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al punto más alto del borde antero-superior interno de la glena tibial (platillo tibial).

interno).

- Espesor del pecho (de pie): Espesor del torso a nivel mesosternal, medido en el plano sagital medial del pecho a la altura del plano horizontal que pasa por el vértice inferior de ambos omóplatos.
- Espesor abdominal (de pie): Espesor del vientre a la altura de la protuberancia máxima anterior del abdomen.
- Anchura del pecho (de pie): Anchura máxima horizontal del tórax.
- Anchura de caderas: Distancia máxima horizontal entre caderas o muslos.
- Altura sentado: Distancia vertical desde una superficie de asiento horizontal hasta el punto más alto de la cabeza.
- Altura de los ojos (sentado): Distancia vertical desde la superficie horizontal de asiento al vértice interno del ojo.
- Altura del punto cervical (sentado): Distancia vertical máxima desde la superficie horizontal de asiento hasta el punto correspondiente al extremo superior de la apófisis espinosa de la séptima vértebra cervical.
- Altura de los hombros (sentado): Distancia vertical desde la superficie horizontal de asiento hasta el punto más elevado del acromion.
- Altura del codo (sentado): Distancia vertical desde una superficie de asiento horizontal hasta el punto óseo más bajo del codo flexionado en ángulo recto, con el antebrazo horizontal.
- Longitud hombro-codo (sentado): Distancia vertical desde el acromion hasta el punto más bajo del codo flexionado en ángulo recto, con el antebrazo horizontal.
- Anchura de hombros (biacromial): Distancia, en línea recta, entre los extremos externos de ambos acromios.
- Anchura entre codos: Distancia máxima horizontal entre las superficies laterales de ambos epicóndilos laterales.
- Anchura de caderas (sentado): Distancia horizontal máxima entre caderas, medida sobre un plano paralelo al de asiento y sobre la parte más ancha de ambos muslos.
- Longitud de la pierna (altura del poplíteo): Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies hasta la superficie inferior del muslo inmediata a la rodilla, con ésta doblada en ángulo recto.
- Espesor del muslo (sentado): Distancia vertical desde la superficie de asiento al punto más alto del muslo derecho.
- Altura del muslo (sentado): Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al punto más alto del muslo derecho.
- Espesor abdominal (sentado): Máximo espesor del abdomen en posición sentado.
- Longitud de la mano: Distancia perpendicular medida desde una línea recta trazada entre las apófisis estiloides hasta la punta del dedo medio.
- Anchura de la palma de la mano: Distancia entre los metacarpianos radial y cubital,

medida entre las cabezas del segundo y quinto metacarpiano.

- Longitud del dedo índice: Distancia desde la punta del dedo índice hasta el pliegue cutáneo de la inserción del dedo en la palma de la mano.
- Anchura proximal del dedo índice: Distancia máxima entre las superficies medial y lateral del dedo índice medida sobre la articulación entre las falanges medial y proximal.
- Anchura distal del dedo índice: Distancia máxima entre las superficies medial y lateral del dedo índice, medida sobre la articulación entre las falanges media y distal.
- Longitud del pie: Distancia máxima desde la punta del dedo más largo del pie hasta la parte posterior del talón, medida paralelamente al eje longitudinal del pie.
- Anchura del pie: Distancia máxima entre las superficies medial y lateral del pie, medida perpendicularmente al eje longitudinal del pie.
- Longitud de la cabeza: Distancia, sobre una línea recta entre la glabella y el punto posterior del cráneo.
- Anchura de la cabeza: Medida perpendicularmente al plano sagital medial.
- Longitud de la cara: Longitud máxima entre el nasión y el mentón.
- Perímetro de la cabeza: Perímetro máximo de la cabeza, medido, aproximadamente horizontal, sobre la glabella y el punto posterior del cráneo.
- Arco sagital de la cabeza: Longitud máxima del arco comprendido entre la glabella y el inión, medida sobre el plano sagital mediano de la cabeza.
- Arco bitragial: Longitud máxima del arco comprendido entre ambos tragos, pasando por la cima de la cabeza.
- Distancia interpupilar: Distancia entre los centros de ambas pupilas.
- Alcance máximo horizontal (puño cerrado): Distancia horizontal desde una superficie vertical hasta el eje del puño de la mano mientras el sujeto apoya ambos omóplatos contra la superficie vertical.
- Longitud codo-puño: Distancia horizontal desde la parte posterior del brazo (a la altura del codo) hasta el eje del puño, el codo flexionado en ángulo recto.
- Altura del tercer metacarpiano: Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) hasta la cabeza del tercer metacarpiano.
- Longitud codo-punta de los dedos: Distancia horizontal desde la parte posterior del brazo (a la altura del codo) hasta la punta de los dedos, el codo flexionado en ángulo recto.
- Profundidad de asiento: Distancia horizontal medida desde, el borde posterior de la cabeza del peroné, hasta el punto posterior del trasero.
- Longitud rodilla-trasero: Distancia mínima horizontal desde el vértice rotuliano inferior al punto posterior del trasero.
- Perímetro del cuello: Longitud máxima del perímetro del cuello medida según el



plano horizontal que pasa, justo por debajo de la protuberancia del cartílago tiroideo.

- Perímetro torácico: Perímetro del torso a la altura del plano que pasa por el borde inferior de ambos omóplatos.
- Perímetro de cintura: Perímetro mínimo del tronco medido sobre la zona situada entre las costillas inferiores y la cresta ilíaca.
- Perímetro de la muñeca: Circunferencia de la muñeca medida entre las apófisis estiloides y la mano, con la misma extendida.

#### 4.4.4. DATOS ANTROPOMÉTRICOS DE LA POBLACIÓN LABORAL ESPAÑOLA

Las tablas que se presentan a continuación contienen un resumen de los datos antropométricos de la población laboral española, establecidos durante los años 1992 a 1996 y corregidos para eliminar sesgos en algunas de las dimensiones incluidas, durante 1999.

Constan de tres secciones:

- La primera de ellas corresponde a la muestra conjunta, es decir, hombres y mujeres en una proporción de 64% y 36%, aproximadamente, que correspondía a la distribución, entre ambos sexos, de la población ocupada en 1996.
- La segunda corresponde a la muestra de mujeres consideradas por separado.
- La tercera corresponde a la muestra de hombres considerados por separado.

A efectos de su aplicación al diseño y proyecto de equipos y puestos de trabajo deben utilizarse, en general, los datos correspondientes a la población conjunta. No obstante, el proyectista verá si conviene ampliar los rangos, para lo que podrá apoyarse en las tablas de datos correspondientes a mujeres u hombres.

Estas dimensiones, en su inmensa mayor parte, coinciden con las incluidas en la norma UNE EN ISO 7250:1998<sup>2</sup>. La referencia a la dimensión correspondiente de la norma se incluye, entre paréntesis, en la primera columna de las tablas de datos.

---

<sup>2</sup> UNE EN ISO 7250:1998: Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Anulada por UNE-EN ISO 7250-1:2010: Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo y referencias.



## Datos antropométricos de la población laboral española.

Población Conjunta (diciembre 1996 – corregidos octubre 1999)

Nº de Ref. ISO7250:1996	DESIGNACIÓN	TAMAÑO MUESTRA	MEDIA	DESV. TÍPICA	ERROR TÍPICO	PERCENTILES				
						P1	P5	P50	P95	P99
1. MEDIDAS TOMADAS CON EL SUJETO DE PIE (mm)										
1 (4.1.1)	Masa corporal (peso, kg)	1711	70,46	12,70	0,307	46,9	51,0	70,0	92,7	102,8
2 (4.1.2)	Estatura (altura del cuerpo)	1723	1663,23	83,89	2,021	1479	1525	1665	1803	1855
3 (4.1.3)	Altura de los ojos	1722	1557,96	82,31	1,985	1382	1423	1558	1699	1747
4 (4.1.4)	Altura de los hombros	1722	1382,12	76,28	1,838	1217	1256	1384	1508	1558
5 (4.1.5)	Altura del codo	1721	1027,24	58,03	1,399	900	932	1027	1122	1165
6 (4.1.6)	Altura de la espina iliaca	1524	934,46	56,59	1,452	806	842	934	1028	1066
7 (4.1.8)	Altura de la tibia	1374	451,78	36,56	0,986	377	398	449	515	548
8 (4.1.9)	Espesor del pecho, de pie	1722	249,16	26,91	0,648	192	208	248	294	320
9 (4.1.10)	Espesor abdominal, de pie	1719	230,05	39,81	0,960	154	168	229	297	327
10 (4.1.11)	Anchura del pecho	1722	308,20	32,80	0,790	237	257	309	360	385
11 (4.1.12)	Anchura de caderas, de pie	1723	343,30	24,31	0,586	288	306	342	385	404
2. MEDIDAS TOMADAS CON EL SUJETO SENTADO (mm)										
12 (4.2.1)	Altura sentado	1716	859,69	41,59	1,004	764	793	859	929	959
13 (4.2.2)	Altura de los ojos, sentado	1716	753,04	39,78	0,960	661	690	753	819	848
14 (4.2.3)	Altura del punto cervical, sentado	1716	631,26	35,23	0,850	552	574	631	688	714
15 (4.2.4)	Altura de los hombros, sentado	1719	578,66	33,70	0,813	500	524	579	635	660
16 (4.2.5)	Altura del codo, sentado	1711	224,98	26,44	0,639	169	182	224	269	294
17 (4.2.6)	Longitud hombro-codo	1721	354,75	25,48	0,614	291	312	356	395	410
18 (4.2.8)	Anchura de hombros, biacromial	1721	369,58	39,46	0,951	281	304	372	432	453
19 (4.2.10)	Anchura entre codos	1717	457,85	53,33	1,287	335	367	461	542	574
20 (4.2.11)	Anchura de caderas, sentado	1718	365,14	30,44	0,734	294	316	364	417	445
21 (4.2.12)	Longitud de la pierna (altura del	1721	418,17	29,17	0,703	350	368	419	464	487
22 (4.2.13)	Espesor del muslo, sentado	1710	144,78	18,89	0,457	100	112	145	174	188
23 (No incl)	Altura del muslo, sentado	1712	558,21	35,14	0,849	473	498	558	615	632



24 (4.2.15)	Espesor abdominal, sentado	1719	240,12	44,11	1,064	156	173	238	314	349
3. MEDIDAS DE SEGMENTOS ESPECÍFICOS DEL CUERPO (mm)										
25 (4.3.1)	Longitud de la mano	1719	182,94	11,88	0,287	155	163	183	202	209
26 (4.3.3)	Anchura de la palma de la mano (en	1719	85,29	7,86	0,190	68	72	86	97	102
27 (4.3.4)	Longitud del dedo índice	1378	72,00	5,13	0,138	61	64	72	81	85
28 (4.3.5)	Anchura proximal dedo índice	1722	19,88	1,99	0,048	16	17	20	23	24
29 (4.3.6)	Anchura distal dedo índice	1723	17,29	2,03	0,049	13	14	17	20	22
30 (4.3.7)	Longitud del pie	1721	251,55	17,80	0,429	210	221	253	279	290
31 (4.3.8)	Anchura del pie	1715	97,10	8,61	0,208	71	84	98	110	115
32 (4.3.9)	Longitud de la cabeza	1717	187,38	8,68	0,209	166	173	187	201	206
33 (4.3.10)	Anchura de la cabeza	1719	144,74	7,68	0,185	126	132	145	157	162
34 (4.3.11)	Longitud de la cara (nasión-mentón)	1570	124,97	11,48	0,290	104	110	124	142	159
35 (4.3.12)	Perímetro de la cabeza	1698	565,63	20,05	0,487	520	533	565	598	611
36 (4.3.13)	Arco sagital de la cabeza	1715	354,30	25,47	0,615	299	315	352	400	419
37 (4.3.14)	Arco bitragial	1718	359,51	19,80	0,478	312	326	360	391	402
38 (No Incl)	Distancia interpupilar	1717	62,76	4,39	0,106	52	56	63	70	73
4. MEDIDAS FUNCIONALES (mm)										
39 (4.4.2)	Alcance máximo horizontal (puño	1719	698,83	54,25	1,308	570	606	700	785	818
40 (4.4.3)	Longitud codo-puño	1715	335,93	25,58	0,618	275	292	337	376	393
41 (4.4.4)	Altura tercer metacarpiano	1568	732,87	43,45	1,097	633	662	733	807	836
42 (4.4.5)	Longitud codo-punta de dedos	1717	447,32	30,23	0,730	381	396	448	495	514
43 (4.4.6)	Profundidad de asiento	1721	493,52	28,05	0,676	426	450	492	540	568
44 (4.4.7)	Longitud rodilla-trasero	1719	590,75	31,52	0,760	523	541	590	644	667
45 (4.4.8)	Perímetro del cuello	1718	368,31	37,21	0,898	292	308	373	425	448
46 (4.4.9)	Perímetro torácico, de pie	1707	968,86	91,01	0,203	788	826	970	1117	1210
47 (4.4.10)	Perímetro de cintura, de pie	1721	871,72	118,93	2,867	642	680	872	1056	1147
48 (4.4.11)	Perímetro de la muñeca	1712	166,10	13,73	0,332	137	143	168	187	196

## Datos antropométricos de la población laboral española.

Población: Mujeres (diciembre 1996 – corregidos octubre 1999)

Nº de Ref. ISO7250:1996	DESIGNACIÓN	TAMAÑO MUESTRA	MEDIA	DESV. TÍPICA	ERROR TÍPICO	PERCENTILES				
						P1	P5	P50	P95	P99
1. MEDIDAS TOMADAS CON EL SUJETO DE PIE (mm)										
1 (4.1.1)	Masa corporal (peso, kg)	586	60,45	9,18	0,379	44,2	48,1	59,0	77,0	90,5
2 (4.1.2)	Estatura (altura del cuerpo)	593	1595,37	62,97	2,586	1439	1494	1596	1701	1744
3 (4.1.3)	Altura de los ojos	590	1491,17	60,95	2,509	1339	1393	1490	1595	1639
4 (4.1.4)	Altura de los hombros	592	1320,09	57,66	2,370	1193	1229	1319	1420	1457
5 (4.1.5)	Altura del codo	593	985,65	47,86	1,965	882	913	985	1059	1109
6 (4.1.6)	Altura de la espina iliaca	522	907,54	48,50	2,123	790	829	908	985	1033
7 (4.1.8)	Altura de la tibia	472	432,32	31,65	1,457	368	384	430	488	519
8 (4.1.9)	Espesor del pecho, de pie	593	245,75	28,73	1,180	193	207	241	304	329
9 (4.1.10)	Espesor abdominal, de pie	591	207,88	36,98	1,521	146	60	203	279	316
10 (4.1.11)	Anchura del pecho	593	283,16	28,01	1,150	230	247	280	328	374
11 (4.1.12)	Anchura de caderas, de pie	593	340,01	27,07	1,112	281	299	337	388	415
2. MEDIDAS TOMADAS CON EL SUJETO SENTADO (mm)										
12 (4.2.1)	Altura sentado	588	830,34	34,23	1,411	748	772	830	884	909
13 (4.2.2)	Altura de los ojos, sentado	589	726,00	32,46	1,397	644	673	725	779	800
14 (4.2.3)	Altura del punto cervical, sentado	588	604,95	28,43	1,173	538	559	604	651	677
15 (4.2.4)	Altura de los hombros, sentado	591	556,32	29,04	1,194	486	511	556	604	622
16 (4.2.5)	Altura del codo, sentado	585	222,82	24,70	1,021	168	182	223	264	284
17 (4.2.6)	Longitud hombro-codo	591	335,06	19,84	0,816	286	303	335	368	381
18 (4.2.8)	Anchura de hombros, biacromial	593	347,15	33,92	1,393	272	287	351	397	420
19 (4.2.10)	Anchura entre codos	590	420,30	45,45	1,871	322	346	419,5	500	532
20 (4.2.11)	Anchura de caderas, sentado	592	366,85	32,87	1,351	294	312	368	425	450
21 (4.2.12)	Longitud de la pierna (altura del	591	399,41	26,17	1,076	346	356	400	445	459
22 (4.2.13)	Espesor del muslo, sentado	590	141,42	16,99	0,699	100	112	142	169	180
23 (No incl)	Altura del muslo, sentado	590	538,98	33,74	1,389	459	484	540	595	613

24 (4.2.15)	Espesor abdominal, sentado	592	213,24	38,89	1,599	150	163	206	289	325
3. MEDIDAS DE SEGMENTOS ESPECÍFICOS DEL CUERPO (mm)										
25 (4.3.1)	Longitud de la mano	593	172,99	8,72	0,358	152	159	173	188	194
26 (4.3.3)	Anchura de la palma de la mano (en	592	77,65	4,69	0,193	67	70	78	86	89
27 (4.3.4)	Longitud del dedo índice	480	68,46	4,01	0,183	60	62	68	75	77
28 (4.3.5)	Anchura proximal dedo índice	592	18,11	1,54	0,063	15	16	18	21	22
29 (4.3.6)	Anchura distal dedo índice	593	15,51	1,44	0,059	13	13	15	18	19
30 (4.3.7)	Longitud del pie	592	236,65	13,35	0,549	200	215	237	257	267
31 (4.3.8)	Anchura del pie	590	90,92	6,70	0,276	70	79	91	100	106
32 (4.3.9)	Longitud de la cabeza	591	181,18	7,02	0,289	164	170	181	193	198
33 (4.3.10)	Anchura de la cabeza	591	140,25	6,91	0,284	123	129	141	151	156
34 (4.3.11)	Longitud de la cara (nasión-mentón)	540	119,57	11,48	0,494	103	107	118	135	175
35 (4.3.12)	Perímetro de la cabeza	586	552,36	16,27	0,672	508	525	552	580	592
36 (4.3.13)	Arco sagital de la cabeza	588	345,58	24,57	1,013	291	310	342	392	412
37 (4.3.14)	Arco bitragial	592	350,83	18,80	0,773	307	320	351	381	398
38 (No Incl)	Distancia interpupilar	592	61,01	4,02	0,166	51	55	61	68	70
4. MEDIDAS FUNCIONALES (mm)										
39 (4.4.2)	Alcance máximo horizontal (puño	593	661,75	43,46	2,000	550	587	663	734	764
40 (4.4.3)	Longitud codo-puño	589	315,83	21,68	0,893	267	281	315	351	375
41 (4.4.4)	Altura tercer metacarpiano	537	706,94	36,61	2,000	624	647	706	767	802
42 (4.4.5)	Longitud codo-punta de dedos	587	421,53	22,78	0,940	370	385	421	458	490
43 (4.4.6)	Profundidad de asiento	591	486,56	24,59	1,000	436	450	485	531	552
44 (4.4.7)	Longitud rodilla-trasero	589	575,08	27,85	1,000	515	530	573	622	656
45 (4.4.8)	Perímetro del cuello	590	329,64	22,97	0,945	288	297	326	372	392
46 (4.4.9)	Perímetro torácico, de pie	590	921,15	85,08	4,000	767	810	909	1083	1206
47 (4.4.10)	Perímetro de cintura, de pie	593	782,12	98,94	4,000	620	654	765	981	1062
48 (4.4.11)	Perímetro de la muñeca	591	152,38	8,95	0,368	135	139	152	168	177

## Datos antropométricos de la población laboral española.

Población: Hombres (diciembre 1996 – corregidos octubre 1999)

Nº de Ref. ISO7250:1996	DESIGNACIÓN	TAMAÑO MUESTRA	MEDIA	DESV. TÍPICA	ERROR TÍPICO	PERCENTILES				
						P1	P5	P50	P95	P99
1. MEDIDAS TOMADAS CON EL SUJETO DE PIE (mm)										
1 (4.1.1)	Masa corporal (peso, kg)	1125	75,67	11,05	0,329	52,9	58,6	75,0	95,8	104,9
2 (4.1.2)	Estatura (altura del cuerpo)	1130	1698,84	70,49	2,097	1537	1583	1698	1820	1864
3 (4.1.3)	Altura de los ojos	1130	1592,82	69,50	2,068	1438	1479	1591	1712	1755
4 (4.1.4)	Altura de los hombros	1130	1414,62	63,68	1,894	1266	1309	1414	1520	1566
5 (4.1.5)	Altura del codo	1128	1049,11	50,48	1,503	928	970	1049	1134	1170
6 (4.1.6)	Altura de la espina iliaca	1002	948,48	55,60	1,756	826	855	947	1040	1073
7 (4.1.8)	Altura de la tibia	902	461,96	34,80	1,159	397	409	461	520	554
8 (4.1.9)	Espesor del pecho, de pie	1129	250,95	25,73	0,766	191	209	251	292	318
9 (4.1.10)	Espesor abdominal, de pie	1128	241,66	36,16	1,077	166	184	240	301	333
10 (4.1.11)	Anchura del pecho	1129	321,35	26,97	0,803	253	280	320	364	389
11 (4.1.12)	Anchura de caderas, de pie	1130	345,02	22,56	0,671	294	310	344	383	402
2. MEDIDAS TOMADAS CON EL SUJETO SENTADO (mm)										
12 (4.2.1)	Altura sentado	1128	874,99	36,59	1,089	795	816	874	936	964
13 (4.2.2)	Altura de los ojos, sentado	1127	767,16	35,75	1,065	689	710	767	828	855
14 (4.2.3)	Altura del punto cervical, sentado	1128	644,97	30,30	0,902	574	596	645	697	717
15 (4.2.4)	Altura de los hombros, sentado	1128	590,36	29,85	0,889	524	543	589	640	664
16 (4.2.5)	Altura del codo, sentado	1126	226,10	27,24	0,812	170	181	224	272	296
17 (4.2.6)	Longitud hombro-codo	1130	365,05	21,78	0,648	305	328	366	399	412
18 (4.2.8)	Anchura de hombros, biacromial	1128	381,37	37,00	1,102	305	318	386	436	458
19 (4.2.10)	Anchura entre codos	1127	477,51	46,14	1,374	357	398	479	551	585
20 (4.2.11)	Anchura de caderas, sentado	1126	36425	2906	0866	297	317	363	415	439
21 (4.2.12)	Longitud de la pierna (altura del	1130	43799	2565	0763	369	388	428	468	491
22 (4.2.13)	Espesor del muslo, sentado	1120	14655	1960	0586	100	113	147	176	191
23 (No incl)	Altura del muslo, sentado	1122	56833	3146	0939	490	516	568	619	641

24 (4.2.15)	Espesor abdominal, sentado	1127	254,24	39,95	1,190	169	190	254	320	356
3. MEDIDAS DE SEGMENTOS ESPECÍFICOS DEL CUERPO (mm)										
25 (4.3.1)	Longitud de la mano	1126	188,18	9,79	0,292	162	172	188	204	210
26 (4.3.3)	Anchura de la palma de la mano (en	1127	89,30	5,99	0,178	75	80	90	99	103
27 (4.3.4)	Longitud del dedo índice	898	73,89	4,64	0,155	64	67	73	82	86
28 (4.3.5)	Anchura proximal dedo índice	1130	0,80	1,50	0,045	17	18	21	23	25
29 (4.3.6)	Anchura distal dedo índice	1130	18,23	1,62	0,048	15	16	18	21	22
30 (4.3.7)	Longitud del pie	1129	259,36	14,56	0,433	220	234	260	282	291
31 (4.3.8)	Anchura del pie	1125	100,34	7,68	0,229	74	87	101	112	117
32 (4.3.9)	Longitud de la cabeza	1126	190,64	7,63	0,227	171	178	191	202	209
33 (4.3.10)	Anchura de la cabeza	1128	147,09	6,99	0,208	131	136	147	158	163
34 (4.3.11)	Longitud de la cara (nasión-mentón)	1130	127,79	10,43	0,325	108	114	127	143	156
35 (4.3.12)	Perímetro de la cabeza	1112	572,63	18,24	0,547	529	543	572	602	615
36 (4.3.13)	Arco sagital de la cabeza	1127	358,84	24,75	0,737	303	320	356	402	420
37 (4.3.14)	Arco bitragial	1126	364,07	18,76	0,559	320	332	365	394	405
38 (No Incl)	Distancia interpupilar	1125	63,68	4,30	0,128	53	57	64	71	74
4. MEDIDAS FUNCIONALES (mm)										
39 (4.4.2)	Alcance máximo horizontal (puño	1126	718,36	48,92	1,458	588	632	720	796	825
40 (4.4.3)	Longitud codo-puño	1126	346,45	20,71	0,617	297	312	347	380	394
41 (4.4.4)	Altura tercer metacarpiano	1031	746,38	40,51	1,262	653	680	746	813	840
42 (4.4.5)	Longitud codo-punta de dedos	1130	460,73	24,37	0,725	401	420	461	501	520
43 (4.4.6)	Profundidad de asiento	1130	497,16	39,06	0,864	422	451	497	545	575
44 (4.4.7)	Longitud rodilla-trasero	1130	598,92	30,22	0,899	527	550	598	650	672
45 (4.4.8)	Perímetro del cuello	1128	388,53	25,34	0,754	330	348	388	430	451
46 (4.4.9)	Perímetro torácico, de pie	1117	994,06	83,68	2,504	803	860	989	1130	1222
47 (4.4.10)	Perímetro de cintura, de pie	1128	918,83	99,99	2,977	696	751	920	1075	1189
48 (4.4.11)	Perímetro de la muñeca	1121	173,34	9,69	0,289	150	157	173	189	198

#### 4.4.5. COMPARACIÓN ANTROPOMÉTRICA DE POBLACIONES

De entre todos los estudios antropométricos existentes, se han seleccionado algunos para realizar una comparación con el estudio de la Población laboral española del INSHT de 1996. Los seleccionados para la comparación han sido los publicados por Damon *et al.* (1971), correspondientes a datos de Estados Unidos; Lange y Krömer (1976), de Alemania Occidental; Pheasant (1982), del Reino Unido, Rebiffé *et al.* (1985), de Francia y Masali y Fubini (1992), de Italia, separados en norte y sur. Ninguno de los trabajos seleccionados para la comparación se refiere expresamente a la población laboral, aunque las diferencias existentes no deberían comprometer las conclusiones generales que se puedan extraer de la comparación establecida.

En el caso de la población masculina, los rangos comprendidos entre P5 y P95 son similares, variando entre un mínimo de 230 mm. y un máximo de 243 mm. mientras que la diferencia máxima en el P5 es de 57 mm. y en el P95 de 65 mm., lo que permite suponer una muy aparente homogeneidad de las diversas poblaciones analizadas estimándose posible la atribución de las diferentes patentes al grado de saturación de la tendencia secular de aceleración (las poblaciones occidentales más desarrolladas no aumentan su estatura de manera perceptible desde hace alguna década, a excepción de Holanda en lo referente a varones y a España en ambos sexos).

En lo que se refiere a la población femenina, también se observa una similitud entre los rangos comprendidos entre P5 y P95, variando entre un mínimo de 187 mm. y un máximo de 210 mm. mientras que la diferencia máxima en el P5 es de 90 mm. y en el P95 de 81 mm. Tanto los rangos como las diferencias máximas entre percentiles aparentan ser mayores que para la población masculina.

Tras presentar las tablas con los datos antropométricos de la población laboral española, compararemos éstos con los de la norma UNE EN 547-3:1997, *Seguridad de las máquinas, medidas del cuerpo humano - Parte 3: Datos antropométricos*.

N° de Ref.  ISO 250:1996	DESIGNACIÓN	Percentiles EN 547-3:1996			Percentiles población laboral		
		P5	P95	P99	P5	P95	P99
1. MEDIDAS TOMADAS CON EL SUJETO DE PIE (mm)							
1 (4.1.1)	Masa corporal (peso, kg)				51,0	92,7	102,8
2 (4.1.2)	Estatura (altura del cuerpo)		1881	1944	1525	1803	1855
3 (4.1.3)	Altura de los ojos				1423	1699	1747
4 (4.1.4)	Altura de los hombros				1256	1508	1558
5 (4.1.5)	Altura del codo				932	1122	1165



6 (4.1.6)	Altura de la espina iliaca				842	1028	1066
7 (4.1.8)	Altura de la tibia				398	515	548
8 (4.1.9)	Espesor del pecho, de pie				208	294	320
9 (4.1.10)	Espesor abdominal, de pie		342		168	297	327
10 (4.1.11)	Anchura del pecho				257	360	385
11 (4.1.12)	Anchura de caderas, de pie				306	385	404
2. MEDIDAS TOMADAS CON EL SUJETO SENTADO (mm)							
12 (4.2.1)	Altura sentado				793	929	959
13 (4.2.2)	Altura de los ojos, sentado				690	819	848
14 (4.2.3)	Altura del punto cervical, sentado				574	688	714
15 (4.2.4)	Altura de los hombros, sentado				524	635	660
16 (4.2.5)	Altura del codo, sentado				182	269	294
17 (4.2.6)	Longitud hombro-codo				312	395	410
18 (4.2.8)	Anchura de hombros, biacromial				304	432	453
19 (4.2.10)	Anchura entre codos		545	576	367	542	574
20 (4.2.11)	Anchura de caderas, sentado				316	417	445
21 (4.2.12)	Longitud de la pierna (altura del				368	464	487
22 (4.2.13)	Espesor del muslo, sentado				112	174	188
23 (No incl)	Altura del muslo, sentado				498	615	632
24 (4.2.15)	Espesor abdominal, sentado				173	314	349
3. MEDIDAS DE SEGMENTOS ESPECÍFICOS DEL CUERPO (mm)							
25 (4.3.1)	Longitud de la mano	152			163	202	209
26 (4.3.3)	Anchura de la palma de la mano (en		97		72	97	102
27 (4.3.4)	Longitud del dedo índice	59			64	81	85
28 (4.3.5)	Anchura proximal dedo índice		23		17	23	24
29 (4.3.6)	Anchura distal dedo índice				14	20	22
30 (4.3.7)	Longitud del pie		285	295	221	279	290
31 (4.3.8)	Anchura del pie		113		84	110	115
32 (4.3.9)	Longitud de la cabeza				173	201	206





33 (4.3.10)	Anchura de la cabeza				132	157	162
34 (4.3.11)	Longitud de la cara (nación-mentón)				110	142	159
35 (4.3.12)	Perímetro de la cabeza				533	598	611
36 (4.3.13)	Arco sagital de la cabeza				315	400	419
37 (4.3.14)	Arco bitragial				326	391	402
38 (No Incl)	Distancia interpupilar				56	70	73
4. MEDIDAS FUNCIONALES (mm)							
39 (4.4.2)	Alcance máximo horizontal (puño	615	820	845	606	785	818
40 (4.4.3)	Longitud codo-puño				292	376	393
41 (4.4.4)	Altura tercer metacarpiano				662	807	836
42 (4.4.5)	Longitud codo-punta de dedos				396	495	514
43 (4.4.6)	Profundidad de asiento				450	540	568
44 (4.4.7)	Longitud rodilla-trasero		687	725	541	644	667
45 (4.4.8)	Perímetro del cuello				308	425	448
46 (4.4.9)	Perímetro torácico, de pie				826	1117	1210
47 (4.4.10)	Perímetro de cintura, de pie				680	1056	1147
48 (4.4.11)	Perímetro de la muñeca				143	187	196

Puede apreciarse como los valores españoles correspondientes a los P95 y P99 son siempre menores que los reflejados en EN 547-3:1997. Igualmente los valores españoles correspondientes al P5 son mayores (excepto en el caso del Alcance máximo horizontal) que los indicados en esa norma. Con ello se verifica que los rangos abarcados por la norma europea incluyen a los rangos españoles correspondientes a la misma dimensión, es decir, la población laboral española está perfectamente contenida en las especificaciones de las normas europeas, así que las máquinas, equipos y puestos de trabajo proyectados conforme a la legislación europea son perfectamente válidos, desde el punto de vista antropométrico, para la población española.



## 5. ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL CUERPO HUMANO

### 5.1. INTRODUCCIÓN A LA ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL CUERPO HUMANO

El término *anatomía* proviene del latín ***anatomía***, y éste del griego **ἀνατομία**; derivado del verbo **ἀνατέμνειν**, *cortar a lo largo*; compuesto de **ἀνά**, *aná hacia arriba* y **τέμνειν**, *témnein cortar*.

Se considera a la anatomía como la ciencia que estudia la estructura de los seres vivos: la forma, la topografía, la ubicación, la disposición y la relación entre sí de los órganos que la componen. El término designa tanto la estructura en sí de los organismos vivientes, como la rama de la biología que estudia dichas estructuras.

La anatomía humana es la ciencia, de carácter práctico y morfológico principalmente, dedicada al estudio de las estructuras macroscópicas del cuerpo humano. Dejando así el estudio de los tejidos a la histología y de las células a la citología y biología celular. La anatomía humana es un campo especial dentro de la anatomía general (animal).

Si bien la anatomía se basa ante todo en el examen descriptivo de los organismos vivos, la comprensión de esta arquitectura implica en la actualidad un maridaje con la función, por lo que se funde en ocasiones con la fisiología, en lo que se denomina anatomía funcional.



El término *fisiología* proviene del griego φυσικς physis, *naturaleza*, y λογος logos, *conocimiento*.

Se considera a la fisiología como la ciencia biológica que estudia las funciones de los seres orgánicos. Esta forma de estudio reúne los principios de las ciencias exactas, dando sentido a aquellas interacciones de los elementos básicos de un ser vivo con su entorno y explicando el porqué de cada diferente situación en que se puedan encontrar estos elementos. Igualmente, se basa en conceptos no tan relacionados con los seres vivos como pueden ser leyes termodinámicas, de electricidad, gravitatorias, meteorológicas...

Para que la fisiología pueda desarrollarse hacen falta conocimientos tanto a nivel de partículas como del organismo en su conjunto interrelacionando con el medio. Todas las teorías en fisiología cumplen un mismo objetivo, hacer comprensibles aquellos procesos y funciones del ser vivo y todos sus elementos en todos sus niveles.

Bajo una visión sistemática, el cuerpo humano está organizado en diferentes niveles según una jerarquía. Así, está compuesto de aparatos. Éstos los integran sistemas, que a su vez están compuestos por órganos, que están compuestos por tejidos, que están formados por células, que están formados por moléculas... Otras visiones, como la funcional, la morfogenética o la clínica, bajo otros criterios, entienden el cuerpo humano de forma un poco diferente.

Los trastornos musculoesqueléticos son lesiones, alteraciones físicas y funcionales, asociadas al aparato locomotor: músculos, tendones, ligamentos, nervios o articulaciones. Se localizan principalmente en la espalda y en las extremidades, tanto superiores como inferiores. Existen dos tipos básicos de estas lesiones:

- Agudas y dolorosas: Provocadas por un esfuerzo intenso y breve. Como por ejemplo el bloqueo de una articulación a consecuencia de un movimiento brusco o un peso excesivo.
- Crónicas y duraderas: Provocadas por esfuerzos permanentes y que ocasionan un dolor creciente. Como por ejemplo la tendinitis, la bursitis o el síndrome del túnel carpiano.

Los síntomas de los trastornos musculoesqueléticos (TME) son:

- Dolor localizado en músculos o articulaciones.
- Rigidez que aparece frecuentemente en nuca, espalda y hombros.
- Hormigueo, entumecimiento o adormecimiento en extremidades superiores.
- Pérdida de fuerza y capacidad de sujeción muy frecuentes en la mano.
- Pérdida de sensibilidad en la zona afectada.
- Fatiga muscular.



Está demostrada la relación directa entre los trastornos musculoesqueléticos y el esfuerzo realizado en la actividad laboral. Por lo que la exposición a factores de riesgo como intensidad, postura, estrés... no procede de la decisión voluntaria del trabajador, sino que está condicionada al diseño de los puestos de trabajo, a las tareas encomendadas y a la organización del trabajo. Resulta complicado encontrar una causa única y definitiva en la aparición de estos trastornos ya que los factores que provocan su aparición se suman, combinan e interactúan entre sí.

Entre los factores de riesgo que pueden provocar trastornos musculoesqueléticos nos encontramos:

- Los provocados por la organización del trabajo:
  - Ritmo de trabajo
  - Intensidad
  - Volumen de trabajo
  - Premura de tiempo
  - Estrés
  - Ausencia de programación de pausas y descanso
  - Trabajo monótono y repetitivo
- Los provocados por las tareas, los equipos y las herramientas:
  - Aplicar fuerza física intensa
  - Aplicación repetitiva de fuerza moderada
  - Repetición de movimientos rápidos
  - Ciclos cortos de trabajo
  - Posturas incómodas o forzadas
  - La inactividad muscular, estatismo y trabajo sedentario
  - Puesto de trabajo mal diseñado, o no adaptado a la tarea
  - Herramientas inadecuadas
  - Carencia de espacio
  - Zonas de trabajo en desorden
- Los provocados por las condiciones ambientales en los puestos de trabajo:
  - Ventilación insuficiente o excesiva
  - Ruido
  - Iluminación
  - Vibraciones
  - Frío o calor
- Los provocados por factores psicosociales: Potencian la acción de otros factores al acentuar la tensión muscular y afectar a la coordinación motora. Potenciando el aumento del esfuerzo físico y el absentismo laboral.
- Los provocados por las características individuales del trabajador:

- Edad
- Sexo
- Complexión física
- Estado fisiológico
- Lateralidad (diestro o zurdo)
- Ausencia o insuficiencia de formación

En general, para poder mantener y favorecer un buen estado de salud, es necesario que se produzca un equilibrio entre la actividad y el descanso, por un lado, y entre las actividades laborales y la capacidad de la persona trabajadora. Para ello, las medidas preventivas que podemos aplicar para prevenir los trastornos musculoesqueléticos son:

- Para prevenir los TME provocados por la organización del trabajo:
  - Identificar y eliminar los factores de riesgo
  - Crear variedad de tareas
  - Establecer una rotación de tareas
  - Disminuir la intensidad del trabajo
  - No primar ritmos elevados de trabajo
  - Programar descansos y micropausas
  - Crear un sistema que permita identificar e informar sobre la aparición de síntomas y detección de problemas de manera rápida y eficaz
- Para prevenir los TME provocados por las tareas, los equipos y las herramientas, se deben estudiar los puestos de trabajo y se diseñar las tareas, los equipos y las herramientas con el fin de:
  - Evitar aplicar fuerzas excesivas, mediante la utilización de herramientas eléctricas o manuales adecuadas.
  - Seleccionar equipos, herramientas y mobiliario adaptados a la tarea que se realiza.
  - Llevar a cabo un mantenimiento periódico de equipos y herramientas.
  - Si se realizan movimientos repetitivos en ciclos de trabajo cortos, organizar las distintas tareas de manera que se alarguen los ciclos.
  - Diseñar las zonas de paso, los puestos de trabajo, al igual que los accesos o salidas a los mismos, con el fin de que:
    - Exista el espacio adecuado a la tarea que se realiza.
    - Se eviten posturas forzadas y/o incómodas.
    - Permita tener los elementos de uso habitual en lugares de acceso fácil y cómodo.
- Para prevenir los TME provocados por las condiciones ambientales en los puestos de trabajo:
  - Controlar los focos emisores de ruido.

- Diseñar la iluminación, tanto la general como la localizada, de manera que no existan reflejos y/o sombras.
  - Acondicionar la temperatura a las tareas que se desarrollan.
  - Ventilar de forma adecuada y suficiente.
  - Evitar las corrientes de aire.
- Para prevenir los TME provocados por los factores psicosociales:
  - Distribuir con equidad y transparencia las tareas y las competencias, en especial las más incómodas.
  - Asignar tareas diversas y con contenidos acordes a los conocimientos y las destrezas del personal.
  - Ampliar y diversificar tareas con contenidos, objetivos y grados de dificultad diferentes.
  - Establecer la carga de trabajo considerando el contenido tanto cuantitativo como cualitativo de la tarea.
  - Reorganizar el tiempo de trabajo (tipo de jornada, duración, flexibilidad, etc.) y facilitar suficiente margen de tiempo para la autodistribución de algunas breves pausas durante cada jornada de trabajo.
  - Proporcionar las ayudas pertinentes para que la carga de trabajo llegue hasta niveles manejables.
- Para prevenir los TME provocados por las características individuales del trabajador:
  - Adaptar el puesto de trabajo y las tareas al trabajador.
  - Informar y formar al trabajador sobre los riesgos de sufrir TME y la manera de prevenir su aparición.

Los trastornos musculoesqueléticos se encuentran entre los problemas más importantes de salud en el trabajo, tanto en los países desarrollados como en los en vías de desarrollo. Afectan a la calidad de vida de la mayoría de las personas durante toda su vida, y su coste anual es grande. Se cree que la proporción de las enfermedades musculoesqueléticas atribuibles al trabajo es de alrededor del 30 %. Por tanto, su prevención sería muy rentable. Para alcanzar este objetivo es preciso conocer a fondo el sistema musculoesquelético sano, sus enfermedades y los factores de riesgo de los trastornos musculoesqueléticos.

La mayor parte de las enfermedades musculoesqueléticas producen molestias o dolor local y restricción de la movilidad, que pueden obstaculizar el rendimiento normal en el trabajo o en otras tareas de la vida diaria. Casi todas las enfermedades musculoesqueléticas guardan relación con el trabajo, en el sentido de que la actividad física puede agravarlas o provocar síntomas, incluso aunque las enfermedades no hayan sido causadas directamente por el trabajo. En la mayor parte de los casos no es posible señalar un único factor causal. Los procesos causados únicamente por lesiones accidentales son una



excepción, en casi todos los casos intervienen varios factores. En muchas enfermedades musculoesqueléticas, la sobrecarga mecánica en el trabajo y en el tiempo libre constituye un factor causal importante. Una sobrecarga brusca, o una carga repetida y mantenida, pueden lesionar diversos tejidos del sistema musculoesquelético. Por otra parte, un nivel de actividad demasiado bajo puede llevar al deterioro de los músculos, tendones, ligamentos, cartílagos e incluso huesos. Para mantener a estos tejidos en buenas condiciones es necesaria la utilización adecuada del sistema musculoesquelético.

El sistema musculoesquelético está formado en esencia por tejidos similares en las diferentes partes del organismo que presentan un extenso panorama de enfermedades. Los músculos son la localización más frecuente del dolor. En la región lumbar, los discos intervertebrales son los tejidos que habitualmente presentan problemas. En el cuello y las extremidades superiores son frecuentes los trastornos de tendones y nervios, mientras que en las extremidades inferiores es la osteoartritis el proceso patológico más importante.

Para comprender estas diferencias corporales es necesario conocer las características anatómicas y fisiológicas básicas del sistema musculoesquelético. También son fundamentales las propiedades biomecánicas de los diversos tejidos. Es necesario conocer tanto la fisiología del funcionamiento normal como la fisiopatología, es decir, lo que funciona mal. En muchos trastornos existen datos muy convincentes de la existencia de factores de riesgo relacionados con el trabajo, aunque hasta la fecha sólo se dispone de datos limitados acerca de las relaciones de causalidad entre los factores de riesgo y los trastornos, datos que son necesarios para establecer directrices para el diseño de trabajos más seguros.

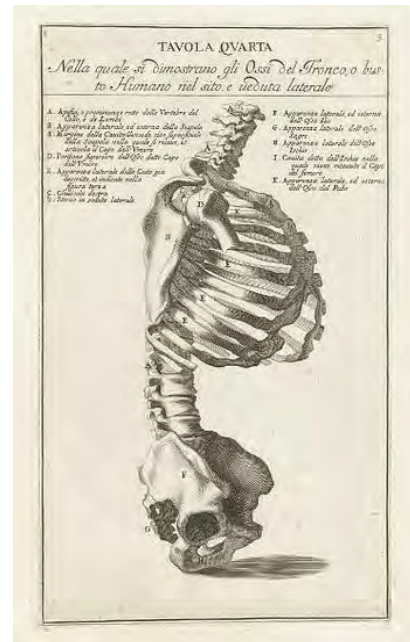


## 5.2. HUESOS Y ARTICULACIONES

### 5.2.1. ANATOMÍA

El hueso es un órgano firme, duro y resistente que forma parte del endoesqueleto de los vertebrados. El cuerpo humano, adulto, tiene 206 huesos, los cuales poseen formas muy variadas y cumplen varias funciones. Con una estructura interna compleja pero muy funcional que determina su morfología, los huesos son livianos aunque muy resistentes y duros. El conjunto total y organizado de las piezas óseas conforma el esqueleto o sistema esquelético. Cada pieza cumple una función en particular y de conjunto en relación con las piezas próximas a las que está articulada.

Los huesos en el ser humano, son órganos tan vitales como los músculos o el cerebro, y con una amplia capacidad de regeneración y reconstitución. El hueso es un tejido vivo que se repone a sí mismo continuamente. Su dureza es la adecuada para la tarea de proporcionar una función de soporte mecánico, mientras que la elasticidad del cartílago lo es para proporcionar a las articulaciones la capacidad de moverse. Tanto el cartílago como el hueso están formados por células especializadas que producen y controlan una sustancia intercelular de material abundante en colágenos, proteoglucanos y proteínas no colágenas. En la misma también están presentes minerales.



Imágenes de huesos humanos de la columna, pelvis, caja torácica...

La constitución general del hueso es la del tejido óseo. Si bien no todos los huesos son iguales en tamaño y consistencia, en promedio, su composición química es de un 25% de agua, 45% de minerales, como fosfato y carbonato de calcio, y 30% de materia orgánica, principalmente colágeno y otras proteínas. Es un tejido muy consistente, resistente a los golpes y presiones pero también elástico, protege órganos vitales como el corazón,

pulmones, cerebro... asimismo permite el movimiento en partes del cuerpo para la realización de trabajo o actividades estableciendo el desplazamiento de la persona. Es también un depósito de almacenamiento de calcio y fósforo del cuerpo.

Los huesos se clasifican en:

- Huesos Largos: presentan una forma cilíndrica, predomina la longitud sobre el ancho y grosor, se dividen en tres porciones, un cuerpo y dos extremos (proximal y distal), generalmente se encuentran en los miembros locomotores. Ejemplo: húmero, fémur, metacarpos...
- Huesos Cortos: presentan una forma cuboide, siendo que ninguna de sus dimensiones predomina, su función es de amortiguamiento. Ejemplos: huesos del carpo y tarso.
- Huesos Planos: su principal característica es que son más anchos y largos que gruesos, su función es la de proteger tejidos blandos e inserción de grandes masas musculares. Ejemplos: escápula u omóplato, huesos del cráneo y coxal.
- Huesos Irregulares: no presentan forma o división predominante para su agrupación, son impares y se localizan en la línea media, sus funciones son variables aunque la de mayor importancia es la protección del sistema nervioso central. Ejemplos: vértebras, occipital, falange distal.

Los huesos poseen zonas con diferente densidad de tejido óseo que se diferencian macroscópicamente y microscópicamente en áreas de hueso compacto y áreas de hueso esponjoso, no existen límites perfectamente marcados entre las dos áreas existiendo entre ellos una pequeña zona de transición. La parte externa del hueso se denomina corteza, y está formada por hueso compacto. La parte interna, más esponjosa, hueso trabecular, está rellena de médula ósea formadora de sangre. Las partes interna y externa del hueso poseen diferentes índices de recambio metabólico, lo que tiene consecuencias importantes para la osteoporosis en etapas posteriores de la vida. El hueso trabecular se regenera a mayor velocidad que el hueso compacto, motivo por el que la osteoporosis se observa primero en los cuerpos vertebrales de la columna, que poseen grandes cantidades de hueso trabecular.

El hueso del cráneo y de otras zonas específicas se forma directamente mediante formación ósea (osificación intramembranosa), sin pasar por fase intermedia de cartílago. Los huesos largos de las extremidades se desarrollan a partir de cartílago, por un proceso denominado osificación endocondral. Este proceso es el que da lugar al crecimiento normal de los huesos largos, a la reparación de las fracturas y, en la vida adulta, a la formación específica de hueso nuevo en las articulaciones con osteoartritis.

Las articulaciones móviles se forman entre dos huesos que se ajustan entre sí. Las superficies articulares están diseñadas para el soporte de peso y para admitir una cierta

amplitud de movimiento. La articulación está dentro de una cápsula fibrosa, cuya superficie interna es una membrana sinovial, que segrega líquido sinovial. La superficie articular está formada por cartílago hialino, bajo el cual existe un fondo de hueso duro, subcondral. Dentro de la articulación, los ligamentos, tendones y estructuras fibrocartilaginosas, como los meniscos en ciertas articulaciones como la rodilla, proporcionan estabilidad y una adaptación exacta entre las superficies articulares. Las células especializadas de estos componentes articulares sintetizan y mantienen las macromoléculas de la sustancia intercelular cuyas interacciones son las responsables del mantenimiento de la resistencia a la tracción de ligamentos y tendones, el tejido conjuntivo laxo que soporta los vasos sanguíneos y los elementos celulares de la membrana sinovial, el líquido sinovial viscoso, la elasticidad del cartílago hialino y la resistencia rígida del hueso subcondral. Estos componentes articulares son interdependientes.

### 5.2.2. FISIOLOGÍA

Los huesos desempeñan varias funciones en el organismo humano:

- Soporte mecánico: Los huesos forman un cuadro rígido, que se encarga de sostener los órganos y tejidos blandos.
- Soporte dinámico: Los huesos colaboran para la marcha, locomoción y movimientos corporales, funcionando como palancas y puntos de anclaje para los músculos. Permiten el movimiento gracias a los músculos que se fijan a los huesos a través de los tendones y a sus contracciones sincronizadas.
- Mantenimiento postural: El sistema esquelético permite posturas como la bipedestación.
- Protegen a los órganos: Los huesos forman diversas cavidades que protegen a los órganos vitales de posibles traumatismos. Como el cráneo o la caja torácica protegen al cerebro y a los pulmones y al corazón, respectivamente, de posibles golpes que puedan sufrir.
- Homeostasis Mineral: El tejido óseo se encarga del abastecimiento de diversos minerales, principalmente el fósforo y el calcio, muy importantes en funciones que realiza el organismo como la contracción muscular. Cuando uno de éstos minerales es necesario, los huesos lo liberan en el torrente sanguíneo, y éste lo distribuye por el organismo.
- Contribuyen a la formación de células sanguíneas: La médula ósea, que se encuentra en el tejido esponjoso de los huesos largos, se encarga de la formación de glóbulos rojos. Este proceso se denomina hematopoyesis.
- Sirven como reserva energética: La médula ósea amarilla que es el tejido adiposo que se encuentra en los canales medulares de los huesos largos, es una gran reserva de energía.

### 5.2.3. PATOLOGÍA

El sistema esquelético está expuesto a patologías de naturaleza circulatoria, inflamatoria, neoplásica, metabólica y congénita, tal como los otros órganos del cuerpo. Aunque no existe un sistema estandarizado de clasificación, los trastornos de los huesos son numerosos y variados. Entre ellos nos encontramos deformaciones, fracturas, osteogénesis imperfecta u osteoporosis:

- **Deformaciones:** Las malformaciones congénitas de los huesos no son muy frecuentes, y por lo general incluyen la ausencia de algún hueso, como una falange, o la formación de huesos adicionales como una costilla. Otras deformaciones incluyen el sindactilismo, que es la fusión de dos dedos adyacentes, o el aracnodactilismo, en la que aparecen dedos con la apariencia de una araña. La acondroplasia es el trastorno del crecimiento óseo más frecuente y la principal causa de enanismo.
- **Fracturas:** Una de las afecciones óseas más comunes es la fractura. Estas se resuelven por procesos naturales, tras la alineación e inmovilización de los huesos afectados. En el proceso de cura, los vasos sanguíneos dañados desarrollan una especie de hematoma óseo que servirá como adhesivo y posteriormente se irá formando un tejido fibroso o conjuntivo compuesto por células llamadas osteoblastos, las cuales crearán un callo óseo que unirá las partes separadas. Sin embargo, la falta de tratamiento o inmovilización puede ocasionar un crecimiento anormal. Los métodos para acelerar la recuperación de un hueso incluyen la estimulación eléctrica, ultrasonido, injertos óseos y sustitutos orgánicos con compuestos cálcicos, tales como huesos de cadáveres, coral y cerámicas biodegradables.
- **Osteogénesis imperfecta:** Esta dolencia es más conocida como la enfermedad de los huesos de cristal. Es una enfermedad congénita que se caracteriza porque los huesos de las personas que la padecen se parten muy fácilmente, con frecuencia tras un traumatismo o a veces sin causa aparente. Esta enfermedad es causada por la falta o insuficiencia del colágeno o por causa de un problema genético.
- **Osteoporosis:** La osteoporosis es el término general para definir la porosidad del esqueleto causada por una reducción de la densidad ósea. En esta enfermedad se muestra la disminución de la resistencia del hueso, debido a una alteración en la remodelación ósea, por ello hay un descenso de la masa ósea, además de presentarse conductos amplios de reabsorción, mientras que la concentración de calcio en la matriz es normal. La osteoporosis secundaria es la más frecuente y asociada con la tercera edad, la menopausia y la actividad física reducida.

Hay muchas más patologías de los huesos, como la osteomielitis y la osteonecrosis, el cáncer óseo **primario y el osteosarcoma, la osteomalacia y el raquitismo, la acromegalia...**

## 5.3. TENDONES

### 5.3.1. ANATOMÍA

El tendón es una parte del músculo estriado, de color blanco, de consistencia fuerte y no contráctil. Los tendones pueden definirse como estructuras compuestas con haces paralelos de fibras de colágeno dispuestas en una matriz gelatinosa de mucopolisacárido.



Tendón, bloque primario de fibras, fibras de colágeno y fibrillas de colágeno.

Las fuerzas de tracción en los extremos del tendón eliminan las ondulaciones y causan el enderezamiento de las bandas de colágeno. Cargas adicionales producen el estiramiento de las bandas enderezadas. En consecuencia, el tendón se hace más rígido a medida que se alarga. Fuerzas de compresión perpendiculares al eje largo del tendón hacen que las bandas de colágeno se aproximen entre sí, lo que ocasiona el aplanamiento del tendón. Fuerzas de cizallamiento laterales al tendón producen el desplazamiento de las bandas de colágeno más próximas a la superficie con respecto a las más alejadas, lo que da un aspecto sesgado al perfil del tendón.

Las fuerzas ejercidas por los músculos al contraerse se denominan fuerzas de tracción porque estiran el tendón. Estas fuerzas pueden demostrarse tirando de los extremos de una banda de goma. Los tendones también están sujetos a fuerzas compresoras y de cizallamiento, y a presiones de líquidos.

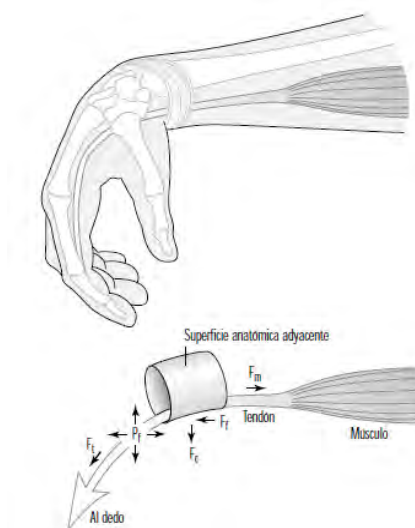


Diagrama esquemático de un tendón estirado alrededor de una superficie anatómica o polea, con las correspondientes fuerzas de tracción ( $F_t$ ), de compresión ( $F_c$ ) y de fricción ( $F_f$ ) y la presión hidrostática o del líquido ( $P_f$ ).

El esfuerzo de los dedos para asir o manipular objetos requiere la acción de músculos del antebrazo y de la mano que, al contraerse, tiran de los extremos de sus respectivos tendones, que pasan a través del centro y de la circunferencia de la muñeca. Si esta última no se mantiene en una posición tal que los tendones estén perfectamente rectos, estos presionarán contra las estructuras adyacentes. Los tendones flexores de los dedos presionan contra los huesos y ligamentos situados en el interior del túnel del carpo. Durante el pellizco forzado con la muñeca flexionada puede verse cómo estos tendones sobresalen bajo la piel hacia la palma. Del mismo modo es posible observar el abultamiento de los tendones extensores y abductores sobre el dorso y la parte lateral de la muñeca cuando se extiende con los dedos estirados.

Las fuerzas de fricción o de cizallamiento están causadas por esfuerzos dinámicos en los que los tendones rozan contra las superficies anatómicas adyacentes. Estas fuerzas actúan sobre la superficie del tendón y en paralelo a ella. Las fuerzas de fricción pueden notarse presionando y deslizando la mano simultáneamente sobre una superficie plana. El deslizamiento de los tendones sobre una superficie anatómica adyacente es análogo al de una cinta deslizándose por una polea.

La fuerza de los tendones contradice la fragilidad de los mecanismos fisiológicos subyacentes por los que se nutren y curan. Intercaladas dentro de la matriz del tendón hay células vivas, terminaciones nerviosas y vasos sanguíneos. Las terminaciones nerviosas proporcionan información al sistema nervioso central para el control motor y para advertir de sobrecargas agudas. Los vasos sanguíneos desempeñan un papel importante en la nutrición de ciertas zonas del tendón. Algunas zonas de los tendones son avasculares y dependen de la difusión del líquido secretado por los revestimientos sinoviales de las vainas externas de los tendones (Gelberman y cols, 1987). El líquido sinovial lubrica también los movimientos de los tendones. Las vainas sinoviales se encuentran en las localizaciones donde los tendones entran en contacto con las superficies anatómicas adyacentes.



Tendón de Aquiles

### 5.3.2. FISIOLOGÍA

Los tendones están ubicados al nivel de los músculos y hacen de nexo entre el músculo y el hueso. Pueden unir también los músculos a estructuras blandas como el globo ocular. Tienen la función de insertar el músculo en el hueso y transmitirles la fuerza de la contracción muscular para producir un movimiento. Mientras que los tendones sirven para mover el hueso o la estructura, los ligamentos son el tejido conectivo fibroso que unen los huesos entre sí y generalmente su función es la de unir estructuras y mantenerlas estables.

A través de los tendones se transmiten las fuerzas que mantienen el equilibrio estático y dinámico en los diversos requerimientos del trabajo. Los músculos, al contraerse, tienden a rotar las articulaciones en una dirección, mientras que el peso del cuerpo y de los objetos del trabajo tiende a rotarlas en la opuesta. No es posible la determinación exacta de estas fuerzas de los tendones, ya que alrededor de cada estructura articular actúan numerosos músculos y tendones.

La contracción de un músculo produce un estiramiento inmediato de su tendón. Los tendones agrupan a los músculos. Si el esfuerzo es mantenido, el tendón continuará estirándose. La relajación del músculo producirá una recuperación rápida del tendón, seguida de una recuperación más lenta. Si el estiramiento inicial estaba dentro de ciertos límites, el tendón se recuperará hasta volver a su longitud inicial sin carga (Fung 1972).

### 5.3.3. PATOLOGÍA

Los tendones pueden sufrir muchos tipos de afecciones. Hay varias formas de tendinopatías o afecciones debidos a su excesivo uso. Estas formas de tendinopatías generalmente producen inflamación y degeneración o debilitamiento de los tendones los cuales pueden eventualmente conducir a una ruptura del tendón. Las tendinopatías pueden ser producidas por una serie de factores relacionados con la matriz extracelular del tendón y su clasificación se ha dificultado porque sus síntomas e histopatología a menudo son similares.

Las tendinopatías pueden ser causadas por distintos factores intrínsecos incluyendo la edad, el peso corporal y la nutrición. Los factores extrínsecos a menudo están relacionados con deportes e incluyen un excesivo trabajo o carga, deficientes técnicas de entrenamiento y condiciones ambientales.

La deformación que se produce al aplicar y retirar una fuerza se denomina deformación *elástica*. La producida después de la aplicación o la retirada de una fuerza se denomina deformación *viscosa*. Debido a que los tejidos del organismo presentan propiedades tanto elásticas como viscosas, se denomina *viscoelásticos*. Si el tiempo de recuperación entre



esfuerzos sucesivos no es lo bastante largo para una fuerza y duración dadas, la recuperación no será completa y el tendón sufrirá un estiramiento adicional con cada esfuerzo sucesivo. Goldstein y cols. (1987) observaron que cuando los tendones del flexor de los dedos eran sometidos a cargas fisiológicas de 8 segundos y reposo de 2 segundos, la tensión viscosa acumulada después de 500 ciclos era igual a la tensión elástica. Cuando los tendones eran sometidos a 2 s de trabajo y 8 s de reposo, la tensión viscosa acumulada después de 500 ciclos era mínima. Todavía no se han determinado los tiempos de recuperación crítica para unos perfiles trabajo-reposo dados.

La excesiva deformación elástica o viscosa del tendón puede lesionar estos tejidos y alterar su capacidad de curación. Se ha formulado la hipótesis de que la deformación puede impedir o frenar la circulación y la nutrición de los tendones (Hagberg 1982; Viikari-Juntura 1984; Armstrong y cols. 1993). Sin una circulación adecuada, la viabilidad celular se verá alterada y la capacidad de curación del tendón estará reducida. La deformación del tendón puede ocasionar pequeños desgarros que contribuyen a una mayor lesión celular e inflamación. Si se restaura la circulación y se permite que el tendón tenga un tiempo de recuperación adecuado, los tejidos lesionados se curarán (Gelberman y cols. 1987; Daniel y Breidenbach 1982; Leadbetter 1989).

Se ha demostrado que los trastornos de los tendones se producen según patrones previsibles (Armstrong y cols. 1993). Se localizan en las partes del organismo con altas concentraciones de tensión. Asimismo, existe una asociación entre la intensidad del trabajo y la prevalencia de trastornos tendinosos. Los factores que previsiblemente provocan trastornos en los tendones son los esfuerzos repetidos y la sobrecarga de las unidades musculotendinosas. Dentro de ciertos límites, las lesiones producidas por sobrecarga mecánica se curarán.



## 5.4. MÚSCULOS

### 5.4.1. ANATOMÍA

Se conoce como músculo al órgano contráctil que se encuentra formando parte de la estructura del cuerpo de los seres humanos. Los músculos son los órganos de mayor adaptabilidad con los que cuenta el hombre, es decir, su contenido y forma se modifican más que cualquier otro. Por ejemplo, un músculo con una atrofia severa puede repararse gracias a entrenamiento físico.

Aproximadamente el 40% del cuerpo humano está formado por músculos, así pues por cada kilogramo de peso total de una persona, 400 gramos corresponden a tejido muscular.

Los músculos son los órganos que generan movimiento en las personas. Este movimiento lo generan al contraerse. En el cuerpo humano, y en el resto de los vertebrados, los músculos están asociados al esqueleto, siendo los responsables de su movimiento.

Hay dos tipos de tejido muscular que forman parte de otros órganos: el tejido muscular estriado cardíaco, exclusivo del corazón, que le permite a éste contraerse y así *empujar* la sangre que llega a su interior, y el tejido muscular liso que está presente en el estómago y a lo largo de todo el tubo digestivo, en los bronquios, en vasos sanguíneos, en la vejiga y en el útero, entre otros.

Los músculos están envueltos por una membrana de tejido conjuntivo llamada fascia. La unidad funcional y estructural del músculo es la fibra muscular. El cuerpo humano contiene aproximadamente 650 músculos.



La propiedad de contraerse, de poder acortar su longitud como efecto de la estimulación por parte de impulsos nerviosos provenientes del sistema nervioso, se la debe al tejido muscular que los forman, más precisamente al tejido muscular de tipo estriado esquelético. Así pues, el funcionamiento de la contracción se debe a un estímulo de una fibra nerviosa, que libera acetilcolina - Ach - la cual, va a posarse sobre los receptores nicotínicos haciendo que estos se abran para permitir el paso de iones sodio a nivel intracelular, estos viajan por los túbulos T hasta llegar a activar a los DHP - receptores de dihidropiridina - que son sensibles al voltaje, estos van a ser los que se abran, provocando a la vez la apertura de los canales de rianodina que van a liberar calcio. El calcio que sale de éste retículo sarcoplasmático va directo al complejo de actina, específicamente a la troponina C. La troponina cuenta con tres complejos; este calcio unido a la troponina C hace que produzca un cambio conformacional a la troponina T, permitiendo que las cabezas de miosina se puedan pegar y así producir la contracción. Este paso del acoplamiento de la cabeza de miosina con la actina se debe a un catalizador en la cabeza de miosina, el magnesio, a la vez hay un gasto de energía, donde el ATP pasa a ser dividido en ADP y fósforo inorgánico. El calcio que se unió a la troponina C, vuelve al retículo por medio de la bomba de calcio, donde gran parte del calcio se une a la calcicuestrina.

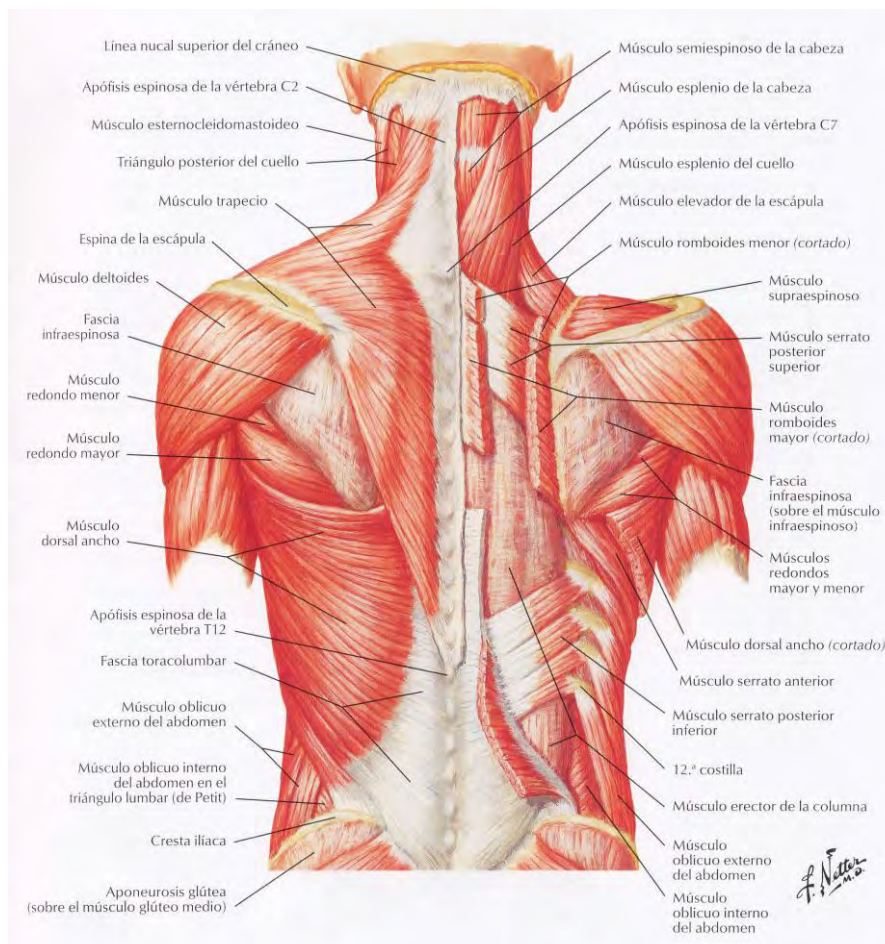


Lámina 174 Netter, Atlas de Anatomía Humana. Músculos de dorso: planos superficiales.

## 5.4.2. FISIOLÓGÍA

Los músculos suelen ser asociados generalmente a su función más obvia, como es el movimiento, pero en realidad son también los que nos permiten impulsar la comida por el sistema digestivo, respirar y hacer circular a la sangre.

El funcionamiento del sistema muscular se puede dividir en tres procesos, uno voluntario a cargo de los músculos esqueléticos el otro involuntario realizado por los músculos viscerales y el último proceso se debe a los músculos cardíacos cuyo funcionamiento es autónomo.

Los músculos esqueléticos permiten caminar, correr, saltar... permiten una multitud de actividades voluntarias. A excepción de los reflejos que son las repuestas involuntarias generadas como resultado de un estímulo. En cuanto a los músculos de funcionamiento involuntario, se puede especificar que se desempeñan de manera independiente a nuestra voluntad pero son supervisados y controlados por el sistema nervioso, se encarga de generar presión para el traslado de fluidos y el transporte de sustancias a lo largo del organismo con ayuda de los movimientos peristálticos (como el alimento, durante el proceso de digestión y excreción). El proceso autónomo se lleva a cabo en el corazón, órgano hecho con músculos cardíacos. La función primordial de este tejido muscular es contraerse regularmente, millones de veces, debiendo soportar la fatiga y el cansancio, o si no, el corazón se detendría.

Las diversas funciones que los músculos desempeñan en el cuerpo humano serían las siguientes:

- Locomoción: La función principal de los músculos es generar movimiento, ya sea voluntario, involuntario o autónomo. También efectúa el movimiento de la sangre.
- Actividad motora de los órganos internos: el sistema muscular es el encargado de hacer que todos nuestros órganos desempeñen sus funciones, ayudando a otros sistemas como por ejemplo al sistema cardiovascular.
- Generan energía mecánica por la transformación de la energía química (biotransformadores).
- Estabilidad: los músculos conjuntamente con los huesos permiten al cuerpo mantenerse estable, mientras permanece en estado de actividad.
- Protección: El sistema muscular sirve de protección, tanto para el buen funcionamiento del sistema digestivo como para otros órganos vitales.
- Postura: Proporciona control sobre las posiciones que realiza el cuerpo en estado de reposo.
- Información del estado fisiológico: Brindan información del estado fisiológico del cuerpo, como por ejemplo un cólico renal provoca contracciones fuertes del músculo liso generando un fuerte dolor, signo del propio cólico.

- Producción de calor: Aportan calor debido a que las contracciones musculares, la abundante irrigación y la fricción originan energía calórica.
- Mímica: el conjunto de las acciones faciales, también conocidas como gestos, que sirven para expresar lo que sentimos y percibimos.
- Forma: Los músculos y tendones dan el aspecto típico del cuerpo.
- Son estimulantes de los vasos linfáticos y sanguíneos. Por ejemplo, la contracción de los músculos de la pierna ayuda a bombear la sangre venosa y la linfática dirigiéndolas en contra de la gravedad durante la marcha.

#### 5.4.3. FACTORES DE RIESGO

Los factores de riesgo de los trastornos musculares relacionados con el trabajo son: la repetición, la fuerza, la carga estática, la postura, la precisión, la demanda visual y la vibración. Los ciclos inadecuados de trabajo/descanso son un factor de riesgo potencial de trastornos musculoesqueléticos si no se permiten suficientes períodos de recuperación antes del siguiente período de trabajo, con lo que nunca se da un tiempo suficiente para el descanso fisiológico. También pueden intervenir factores ambientales, socioculturales o personales. Los trastornos musculoesqueléticos son multifactoriales y, en general, es difícil detectar relaciones causa/efecto simples. No obstante, es importante documentar el grado de relación causal entre los factores profesionales y los trastornos, puesto que sólo en el caso de que exista causalidad se podrán prevenir los trastornos mediante la eliminación o la reducción al mínimo de la exposición. Dependiendo del tipo de tarea se deberán implantar diferentes estrategias preventivas. En el caso de trabajo de alta intensidad, el objetivo será reducir la fuerza y la intensidad del trabajo, mientras que en caso de trabajo monótono y repetitivo será más importante introducir alguna variación en él. El objetivo es optimizar la exposición.

La actividad física puede aumentar la fuerza muscular y la capacidad de trabajo mediante cambios como el aumento del volumen muscular y de la capacidad metabólica. Los diferentes patrones de actividad producen diversas adaptaciones bioquímicas y morfológicas en los músculos. En general, un tejido debe ser activo para poder seguir viviendo. La inactividad produce atrofia, sobre todo en el tejido muscular. La medicina deportiva y las investigaciones científicas han demostrado que las diversas pautas de entrenamiento pueden producir cambios musculares muy específicos. El entrenamiento de fuerza, que aplica fuerzas intensas a los músculos, aumenta el número de filamentos contráctiles y el volumen del retículo sarcoplásmico. El ejercicio de alta intensidad aumenta la actividad enzimática muscular. Las fracciones de enzimas glucolíticas y oxidativas están estrechamente relacionadas con la intensidad del trabajo. Además, el ejercicio intenso y prolongado aumenta la densidad de los capilares.

En ocasiones, el ejercicio excesivo puede producir dolor muscular, fenómeno ocasionado al

practicar un rendimiento muscular superior a la capacidad. Cuando un músculo es utilizado en exceso, se producen en primer lugar procesos de deterioro, seguidos de procesos de reparación. Si se permite un tiempo suficiente para la reparación, el tejido muscular puede acabar con unas capacidades aumentadas. Por otra parte, la utilización excesiva sin tiempo suficiente para la reparación produce fatiga y altera el rendimiento muscular. Esta utilización excesiva prolongada puede dar lugar a cambios degenerativos crónicos en los músculos.

Otros aspectos del uso y abuso de los músculos son los patrones de control motor en las diversas actividades laborales, que dependen del nivel de la fuerza, del ritmo de desarrollo de la fuerza, del tipo de contracción, de la duración y de la precisión de la tarea muscular (Sjøgaard y cols. 1995). Para estas tareas se activan determinadas fibras musculares, y algunos patrones de movimiento pueden inducir una carga elevada sobre determinadas unidades motoras, aunque la carga sobre el conjunto del músculo sea pequeña. La activación extensa de una determinada unidad motora producirá inevitablemente fatiga, que puede ir seguida de dolor y lesión muscular profesional, que fácilmente podrían estar relacionados con la fatiga causada por un aporte sanguíneo insuficiente al músculo y por los cambios bioquímicos intramusculares debidos a esta demanda elevada (Edwards 1988). Las altas presiones en el tejido muscular pueden impedir también el flujo sanguíneo muscular, lo que reducirá la capacidad de las sustancias químicas esenciales para alcanzar el músculo, así como la capacidad de la sangre para eliminar los productos de desecho, lo que puede causar crisis de energía en los músculos. El ejercicio puede dar lugar a la acumulación de calcio, y la formación de radicales libres puede favorecer también procesos degenerativos como la rotura de la membrana muscular y la alteración del metabolismo normal. Estos procesos pueden originar finalmente cambios degenerativos en el propio tejido muscular. La presencia de fibras con marcadas características degenerativas es más frecuente en las biopsias musculares de los pacientes con dolor muscular (mialgia) crónico relacionado con el trabajo, que en los sujetos normales. Es interesante señalar que las fibras musculares degeneradas así identificadas son *fibras de contracción lenta*, que conectan con nervios motores de bajo umbral. Estos son los nervios activados normalmente con fuerzas bajas mantenidas, no con tareas relacionadas con una fuerza elevada. La percepción de fatiga o de dolor puede tener un papel importante en la prevención de la lesión muscular. Los mecanismos protectores inducen a los músculos a relajarse y recuperarse para recuperar la fuerza (Sjøgaard 1990). Si se ignora este mecanismo de biorretroalimentación procedente de los tejidos periféricos, la fatiga y el dolor pueden dar lugar finalmente a dolor crónico.

A veces, después de un uso excesivo y frecuente, diversas sustancias químicas celulares normales no sólo producen dolor por sí mismas, sino que aumentan la respuesta de los receptores musculares a otros estímulos, reduciendo así el umbral de activación (Mense

1993). En consecuencia, los nervios que transportan las señales de los músculos al cerebro pueden sensibilizarse con el tiempo, lo que significa que una dosis dada de sustancias causantes de dolor desencadena una respuesta de excitación más potente. Es decir, se reduce el umbral de activación, y exposiciones más pequeñas pueden producir respuestas mayores. Es interesante señalar que las células que normalmente sirven como receptores del dolor (nociceptores) en el tejido no lesionado se mantienen silentes, pero estos nervios pueden desarrollar también una actividad dolorosa continua que puede persistir incluso una vez terminada la causa del dolor. Este efecto puede explicar los estados crónicos de dolor presentes después de curada la lesión inicial. Cuando el dolor persiste después de la curación, los cambios morfológicos originales en los tejidos blandos pueden ser difíciles de identificar, incluso cuando la causa primaria o inicial del dolor está localizada en estos tejidos periféricos. Así, a veces es imposible encontrar la *causa* real del dolor.

#### 5.4.4. PATOLOGÍA

El dolor muscular relacionado con el trabajo se presenta casi siempre en la zona del cuello y de los hombros, del antebrazo y de la región lumbar. Aunque es una causa importante de baja laboral, existe una gran confusión en cuanto a la clasificación del dolor y a los criterios diagnósticos específicos. Los términos utilizados habitualmente se presentan en tres categorías:

- Síndromes regionales:
  - Síndrome de dolor miosfacial
  - Síndrome de tensión cervical
  - Síndrome del manguito de los rotadores
  - Síndrome compartimental
- Trastornos musculares locales
  - Reumatismo muscular
  - Fibrosis
  - Miositis
  - Dolor muscular
  - Mialgia
  - Fibromialgia
  - Punto hiperestésico
  - Punto desencadenante
- Síndromes generales
  - Síndrome de fibrositis
  - Síndrome de fibromialgia
  - Fibromialgia primaria
  - Polimialgia

### o Polimiositis

Cuando se supone que el dolor muscular está relacionado con el trabajo, se puede clasificar en uno de los siguientes trastornos:

- Trastornos profesionales cervicobraquiales (TPC).
- Lesión por tensión de repetición (LTR).
- Trastornos traumáticos acumulados (TTA).
- Síndrome de (lesión por) uso excesivo.
- Trastornos del cuello y de las extremidades superiores relacionados con el trabajo.

La taxonomía de los trastornos del cuello y de las extremidades superiores relacionados con el trabajo demuestra claramente que la etiología incluye cargas mecánicas externas, que bien pueden ocurrir en el lugar de trabajo. Además de los trastornos en el propio tejido muscular, en esta categoría se incluyen también los de otros tejidos blandos del sistema musculoesquelético. Hay que destacar que los criterios diagnósticos quizá no permitan identificar la localización del trastorno específicamente en uno de estos tejidos blandos. De hecho, es probable que en la percepción del dolor muscular influyan cambios morfológicos en las uniones músculotendinosas. Esto hace recomendable la utilización del término fibromialgia para los trastornos musculares locales.

Por desgracia, para procesos médicos esencialmente iguales se utilizan términos diferentes. En los últimos años, la comunidad científica internacional ha prestado una atención creciente a la clasificación y a los criterios diagnósticos de los trastornos musculoesqueléticos. Se distingue entre dolor generalizado y dolor local o regional (Yunus 1993). El síndrome de fibromialgia es un proceso de dolor generalizado, pero no se considera relacionado con el trabajo. Por otra parte, es probable que los trastornos dolorosos localizados estén relacionados con tareas profesionales específicas. El síndrome de dolor miofascial, el síndrome de tensión cervical (en el cuello) y el síndrome del manguito de los rotadores son trastornos dolorosos localizados que pueden considerarse enfermedades relacionadas con el trabajo.

Algunas enfermedades y dolencias que afectan al sistema muscular son:

- Desgarro: Ruptura del tejido muscular.
- Calambre: Contracción espasmódica involuntaria, que afecta a los músculos superficiales.
- Esguince: Lesión producida por un daño moderado o total de las fibras musculares.
- Distrofia muscular: Degeneración de los músculos esqueléticos.
- Atrofia: Pérdida o disminución del tejido muscular.
- Hipertrofia: Crecimiento o desarrollo anormal de los músculos, produciendo en algunos casos serias deformaciones.



- Poliomielitis (polio): Es una enfermedad producida por un virus, que ataca al sistema nervioso central, y ocasiona que los impulsos nerviosos no se transmitan y las extremidades se atrofien.
- Miastenia grave: Es un trastorno neuromuscular que se caracteriza por una debilidad del tejido muscular.
- Tumores: Como el tumor desmoide o fibromatosis agresiva, el rabdomioma y el maligno rabdomiosarcoma.

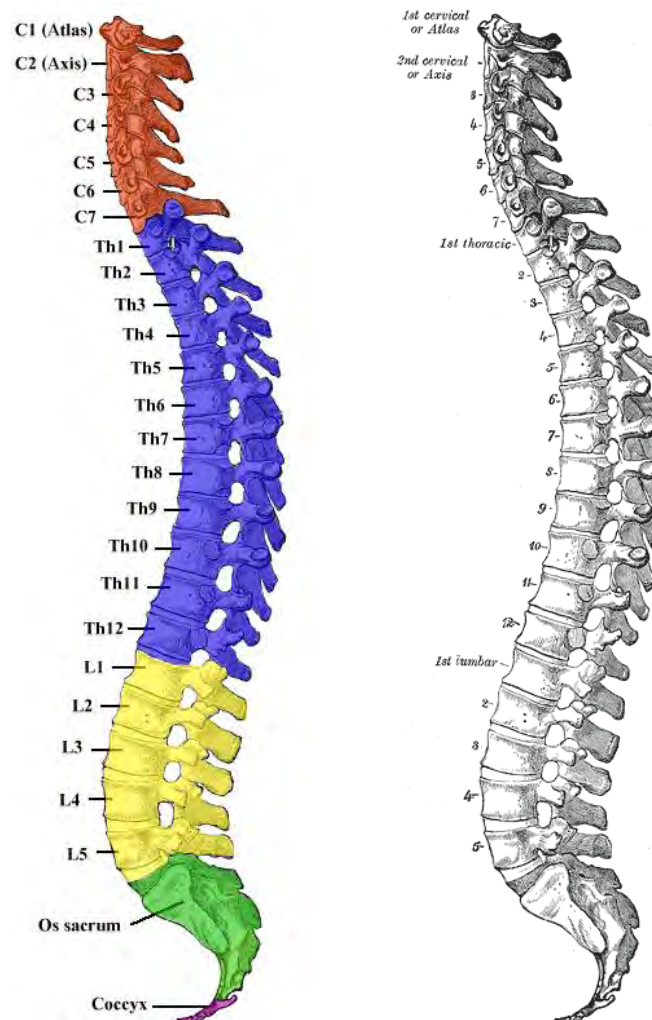


## 5.5. COLUMNA VERTEBRAL

### 5.5.1. ANATOMÍA

La columna vertebral, raquis o espina dorsal es una compleja estructura osteofibrocartilaginosa articulada y resistente, en forma de tallo longitudinal, que constituye la porción posterior e inferior del esqueleto axial. La columna vertebral es un órgano situado, en su mayor extensión, en la parte media y posterior del tronco, y va desde la cabeza, a la cual sostiene, pasando por el cuello y la espalda, hasta la pelvis a la cual da soporte.

La columna vertebral está formada por 33 vértebras en total: 7 vértebras cervicales, 12 torácicas, 5 lumbares, 5 sacras, que habitualmente están soldadas, y las 4 que forman el cóccix. Estas vértebras se articulan entre sí a través de las carillas articulares y de los discos intervertebrales. La columna vertebral de un humano adulto mide por término medio 75 cm. de longitud.



Vista lateral izquierda de los segmentos de la columna vertebral: *región cervical* (rojo); *región dorsal* (azul); *región lumbar* (amarillo); *región sacra* (verde); *región coccígea* (violeta).

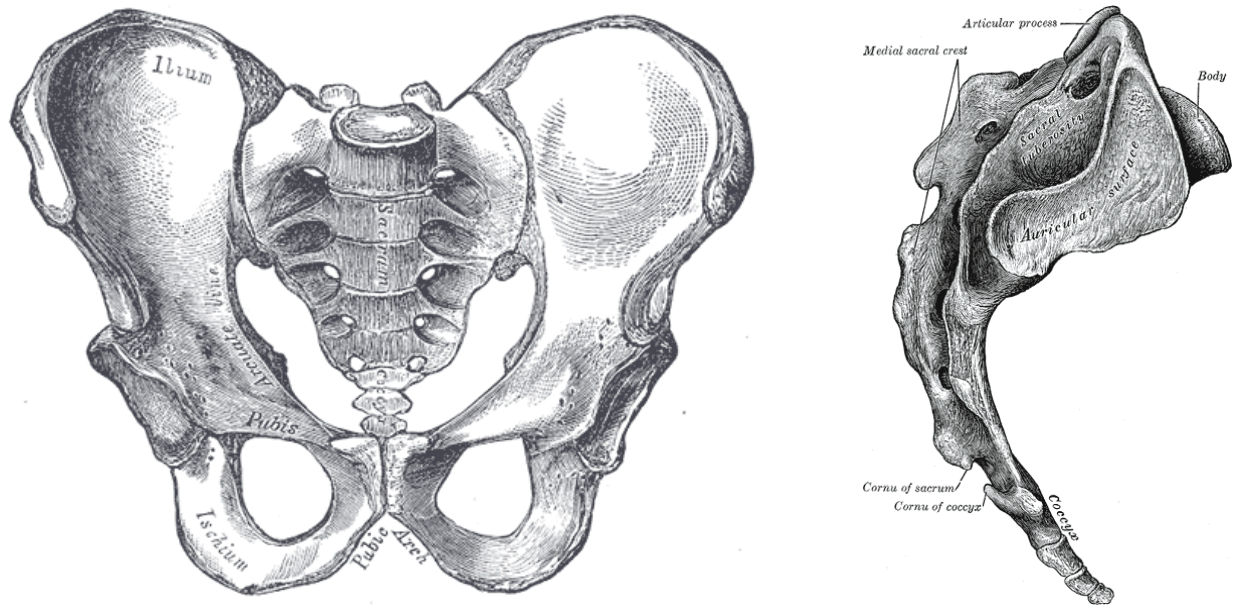
Región cervical: Existen siete huesos cervicales, con ocho nervios espinales, en general son pequeños y delicados. Sus procesos espinosos son cortos, con excepción de C2 y C7, los cuales tienen procesos espinosos incluso palpables. Nombrados de cefálico a caudal de C1 a C7, Atlas (C1) y Axis (C2), son las vértebras que le permiten la movilidad del cuello. En la mayoría de las situaciones, es la articulación atlanto-occipital que le permite a la cabeza moverse de arriba a abajo, mientras que la unión atlantoaxoidea le permite al cuello moverse y girar de izquierda a derecha. En el axis se encuentra el primer disco intervertebral de la columna espinal. Las vértebras cervicales poseen el agujero transversal por donde transcurren las arterias vertebrales que llegan hasta el agujero magno para finalizar en el polígono de Willis. Estos agujeros son los más pequeños, mientras que el agujero vertebral tiene forma triangular. Los procesos espinosos son cortos y con frecuencia están bifurcados, salvo el proceso C7, donde se ve claramente un fenómeno de transición, asemejándose más a una vértebra torácica que a una vértebra cervical prototipo.

Región dorsal: Los doce huesos torácicos y sus procesos transversos tienen una superficie para articular con las costillas. Alguna rotación puede ocurrir entre las vértebras de esta zona, pero en general, poseen una alta rigidez que previene la flexión o la torsión excesiva, formando en conjunto a las costillas la caja torácica, protegiendo los órganos vitales que existen a este nivel (corazón, pulmón y grandes vasos). Los cuerpos vertebrales tienen forma de corazón con un amplio diámetro anteroposterior. Los agujeros vertebrales tienen forma circular.

Región lumbar: Las cinco vértebras lumbares tienen una estructura muy robusta, debido al gran peso que tienen que soportar por parte del resto de vértebras proximales. Permiten un grado significativo de flexión y extensión, además de flexión lateral y un pequeño rango de rotación. Es el segmento de mayor movilidad a nivel de la columna. Los discos entre las vértebras construyen la lordosis lumbar, tercera curva fisiológica de la columna, con concavidad hacia posterior.

Región sacra: El hueso sacro es un hueso corto, impar, central y simétrico, oblicuo, compuesto por cinco piezas soldadas (*vértebras sacras*) en forma de pirámide cuadrangular, con una base, un vértice y cuatro caras, anterior, posterior y laterales. Sus alas sacras en las zonas laterales, se unen con las alas ciáticas de la pelvis. Se encuentra debajo de la vértebra L5 y encima del cóccix y entre los huesos coxales, con todos los cuales se articula. Contribuye a formar la columna vertebral y la pelvis. Su función principal es transmitir el peso del cuerpo a la cintura pélvica. El borde anterior de S1 es sobresaliente y se denomina promontorio sacro. El vértice se articula con el cóccix. El orificio vertebral del sacro se denomina conducto sacro. Contiene las raíces nerviosas de la cola de caballo (raíces de nervios espinales situados debajo de L1). En las caras pélvicas y

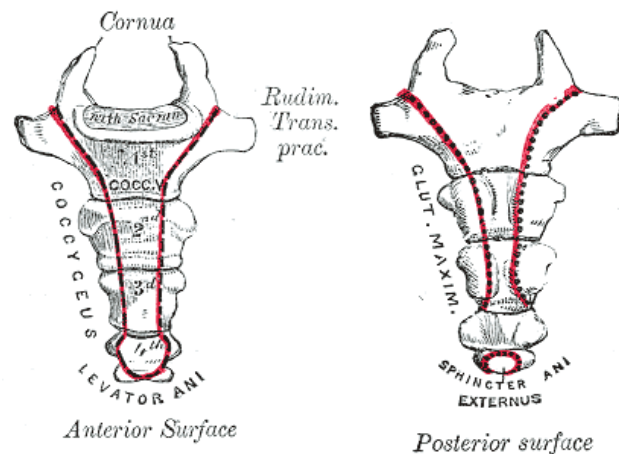
dorsal del sacro aparecen 4 pares de orificios sacros a través de los cuales emergen ramos dorsales y ventrales de los nervios espinales. En él se insertan los músculos iliaco en la base, piramidal en la cara anterior, isquiococcígeo en los tramos laterales y en la cara posterior el gran dorsal, dorsal largo, sacrolumbar, transverso espinoso y glúteo mayor.



Vista frontal y lateral del hueso sacro.

**Cóccix:** En los humanos y otros primates sin cola, el cóccix es lo que queda de una cola ahora vestigial. Pero no es totalmente inservible, ya que sirve de apoyo para muchos ligamentos y músculos. El cóccix es un hueso corto, impar, central y simétrico, compuesto por cuatro o cinco piezas soldadas, vértebras coccígeas, en forma de triángulo, con base, vértice, dos caras laterales y dos bordes. Se encuentra debajo del sacro, con el cual se articula y al que continúa, formando la última pieza ósea de la columna vertebral. La última vértebra cóccix (Co1) puede ser independiente. La cara pélvica del cóccix es cóncava y bastante lisa, y la cara dorsal posee apófisis articulares rudimentarias. La Co1 es la más grande y ancha de todas las vértebras coccígeas. Sus apófisis transversas cortas se comunican con el sacro, y sus apófisis articulares rudimentarias forman las astas del cóccix, que se articulan con las correspondientes del sacro. Las tres últimas vértebras coccígeas suelen fusionarse durante las etapas intermedias de la vida, creando un hueso arrosariado, de donde procede su nombre. Con la vejez, la Co1 suele unirse con el sacro y las vértebras coccígeas restantes se funden en un solo hueso. El cóccix no participa con las demás vértebras para soportar el peso corporal durante la bipedestación, sin embargo, en sedestación puede flexionarse anteriormente de forma ligera, lo que indica que está soportando parte del peso. El cóccix ofrece inserciones para parte de los músculos glúteo

mayor y coccígeo y para el ligamento anocoxígeo, intersección fibrosa de los músculos pubocoxígeos.



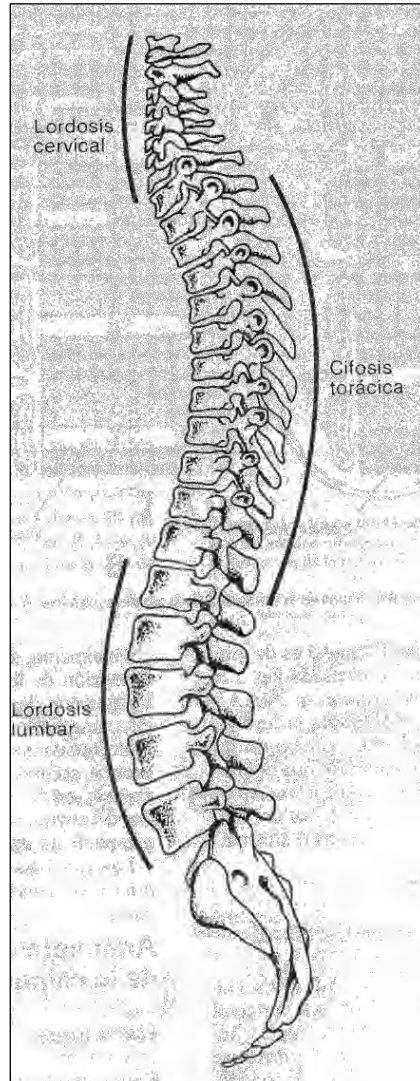
Vista posterior y anterior del cóccix

Las curvaturas de la columna vertebral humana no se producen sólo debido a la forma de las vértebras, sino también, a la forma de los discos intervertebrales. La columna cuenta con dos tipos principales de curvaturas: anteroposteriores y laterolaterales:

- Curvaturas anteroposteriores: Se describen dos tipos de curvaturas: cifosis y lordosis. La cifosis es la curvatura que dispone al segmento vertebral con una concavidad anterior o ventral y una convexidad posterior o dorsal. La lordosis, al contrario, dispone al segmento vertebral con una convexidad anterior o ventral y una concavidad posterior o dorsal. La columna vertebral humana se divide en cuatro regiones, cada una con un tipo de curvatura característica:
  - Cervical: lordosis.
  - Torácica: cifosis.
  - Lumbar: lordosis.
  - Sacro-coccígea: cifosis.

En el recién nacido humano, la columna cervical sólo cuenta con una gran cifosis. La lordosis lumbar y sacro-coccígea, aparecen luego.

- Curvaturas laterolaterales: En humanos, la columna vertebral presenta una curvatura torácica imperceptible de convexidad contralateral al lado funcional del cuerpo. Debido al predominio de la condición diestra en la población, la mayoría presenta una curvatura lateral torácica de convexidad izquierda.



Curvaturas anteroposteriores de la columna vertebral humana.

### 5.5.2. FISIOLOGÍA

Las funciones de la columna vertebral son varias, principalmente interviene como elemento de sostén estático y dinámico, proporciona protección a la médula espinal recubriéndola, y ayuda a mantener el centro de gravedad de los vertebrados. La columna vertebral sirve también de soporte para el cráneo.

Las vértebras están conformadas de tal manera que la columna goza de flexibilidad, estabilidad y amortiguación de impactos durante la locomoción normal del organismo.

### 5.5.3. FACTORES DE RIESGO

Conforme se ha ido demostrando que el dolor de espalda no siempre se debe a una alteración orgánica de la columna vertebral, se han comenzado a estudiar los factores que se asocian a un mayor riesgo de padecerlo. Algunos de los factores que han sido más estudiados son los siguientes:

- Flexo-extensión repetida de la columna: Al flexionar la columna se produce un aumento de la presión en el interior del disco intervertebral. Si en ese momento se carga peso y se vuelve a enderezar la columna, la presión en la parte posterior del disco se incrementa tanto que puede fisurarlo o romperlo, produciendo una hernia discal. Ese proceso puede ocurrir de una vez, si el esfuerzo es intenso, pero suele producirse por un mecanismo de acumulación, cada flexión inadecuada va aumentando el impacto del núcleo pulposo en la envuelta fibrosa del disco y la erosiona hasta fisurarla o romperla. Además del disco, también la musculatura se sobrecarga al mantenerse inclinado hacia adelante. Esa postura es posible mantenerla gracias esencialmente a la tensión controlada de la musculatura paravertebral, glútea e isquiotibial, que impide que el cuerpo caiga hacia adelante. Cuanto mayor es el ángulo de flexión, mayor es el esfuerzo que debe realizar la musculatura lumbar y menor el número de segmentos que lo hacen, lo que facilita que se sobrecargue. Estudios mecánicos demuestran que la sobrecarga discal y muscular es mayor si la inclinación se hace con las piernas estiradas, y menor si se flexionan las rodillas y se mantiene la espalda recta.
- Torsión o rotación frecuente de la columna: Por la forma de las vértebras, la columna cervical puede rotar más que la dorsal, y ésta más que la lumbar. Probablemente, la repetición de rotaciones exageradas en la columna lumbar puede sobrecargar la articulación facetaria y la musculatura, e incluso también el disco, especialmente si se hace cargando peso.
- Esfuerzos: La asociación esfuerzo-dolor de espalda puede deberse a un mecanismo de sobrecarga, y pueden asociarse a un riesgo mayor si los esfuerzos se realizan en posturas de flexo-extensión o rotación, como se ha dicho anteriormente. Si la musculatura es muy potente, se lesiona antes ésta que el disco intervertebral. En este caso, el dolor es provocado por la lesión muscular, es una lesión dolorosa pero benigna y suele resolverse por sí misma en unos días, el dolor evita que se mantenga el esfuerzo y protege el disco intervertebral. Si la musculatura no es suficientemente potente, el disco intervertebral puede lesionarse a la vez que la musculatura. Es posible que la repetición continua de esfuerzos, aunque no sean muy intensos, pueda provocar dolor de espalda, probablemente por la acumulación de pequeñas lesiones en el disco intervertebral, la articulación facetaria o, más frecuentemente, por la sobrecarga repetida de la musculatura. Un esfuerzo excesivo

no significa siempre cargar peso, la adopción de posturas inadecuadas puede sobrecargar la musculatura o las estructuras de la columna vertebral. Si las posturas inadecuadas se mantienen suficiente tiempo o se repiten con frecuencia pueden causar dolor de espalda por un mecanismo de sobrecarga aunque no se haya cargado peso.

- Las vibraciones: Estudios epidemiológicos han demostrado que existe una mayor incidencia de dolor lumbar en los sujetos expuestos a niveles altos de vibración. La columna vertebral es susceptible a las lesiones a sus frecuencias naturales, sobre todo desde 5 a 10 Hz. Numerosos vehículos provocan vibraciones a estas frecuencias. Estudios comunicados por Brinckmann y Pope (1990) han demostrado la existencia de una relación entre tales vibraciones y la incidencia de dolor lumbar. Puesto que se ha demostrado que las vibraciones afectan a los pequeños vasos sanguíneos en otros tejidos, éste podría ser también el mecanismo de este efecto en la columna vertebral. Es probable que la vibración desencadene el dolor por uno de los siguientes mecanismos:
  - La vibración conlleva acortamiento y alargamiento rápido de la musculatura, lo que podría facilitar su contractura.
  - La vibración aumenta cíclica y rápidamente la carga en el disco intervertebral y la articulación facetaria.
  - La vibración provoca directamente la activación de los nervios del dolor en el ganglio espinal.
- Falta de potencia, de resistencia o de entrenamiento de la musculatura de la espalda: Se asocia a un mayor riesgo no solo de padecer dolor de espalda, sino de que este dolor reaparezca repetidamente o se convierta en crónico. Los estudios realizados confirman que el dolor de espalda aparece más fácilmente y persiste más tiempo en las personas que no tienen una musculatura suficientemente potente, resistente y entrenada. Probablemente, este hecho se explique por varios mecanismos:
  - Si la musculatura es potente y armónica, el reparto de la carga es correcto y disminuye el riesgo de padecer contracturas o sobrecargas musculares.
  - Cuanto mayor es la potencia y resistencia muscular, mayor es la resistencia estructural a la carga.
  - En condiciones normales, la musculatura comienza a doler antes que las demás estructuras de la espalda, de forma que alerta de su posible lesión. Si la musculatura es poco potente, ese mecanismo no funciona eficazmente.
  - En condiciones normales, la musculatura informa de la posición en el espacio. Cuando la musculatura está poco entrenada esa fuente de

información es defectuosa, de forma que se adoptan posturas incorrectas sin tener conciencia de ello.

- Sentir molestias en la cama: Los estudios realizados demuestran que el dolor de espalda es más frecuente entre quienes sienten molestias al estar en la cama o al levantarse. En algunos estudios, sentir molestias en la cama se ha asociado a un riesgo de hasta un 1800% mayor de padecer dolor de espalda, tanto entre los adolescentes como entre los adultos, mientras que la mayor parte de los demás factores estudiados, como el género o realizar esfuerzos físicos en el trabajo o en el ocio, se han asociado a un efecto mucho menor. Además los estudios científicos realizados han demostrado que también entre las personas que ya sufren dolor de espalda, la firmeza del colchón influye en su evolución, de manera que un colchón de firmeza intermedia es más recomendable que uno muy firme. Esos datos sugieren que las características de la superficie de descanso suponen un factor relevante con relación a la existencia o evolución del dolor de espalda. Es posible que esa influencia se deba a varios factores. Si las características de la cama inducen la adopción de posturas incorrectas al estar acostado, se puede alterar el reparto de cargas en esa postura, afectando a la musculatura, al inducir su sobrecarga o, simplemente, dificultar su relajación, o aumentando la carga que sufren los discos intervertebrales y la articulación facetaria. Dado que ese factor actuaría de manera repetida y prolongada, se estima que se pasa, aproximadamente, un tercio de la vida en la cama, a medio o largo plazo dormir en una cama inadecuada podría llegar a inducir alteraciones en esa estructura.
- Episodios previos de dolor de espalda: Los estudios científicos demuestran que una vez que un paciente ha tenido un episodio de dolor de espalda, es probable que vuelva a tener otros en el futuro. Algunas de las recomendaciones basadas en la evidencia científica establecen que en la mayor parte de los pacientes se repiten crisis dolorosas de vez en cuando, sin que eso signifique necesariamente que estén empeorando o que se hayan vuelto a lesionar la espalda. Este hecho podría explicarse por varios motivos:
  - Quienes padecen una crisis suelen tener uno o varios factores de riesgo, relacionados con su tipo de vida o características propias. Salvo que se adopten medidas específicas, lo cual no siempre es fácil: cambio de **hábitos, ejercicio... es** probable que esos factores de riesgo sigan originando nuevos episodios.
  - Los estudios demuestran que el dolor de espalda provoca la contractura del músculo mediante un mecanismo neurológico, y que el músculo recibe menos riego sanguíneo mientras está contracturado. Eso puede facilitar que vuelva a contracturarse en el futuro y provoque nuevas crisis de dolor, especialmente si se guarda reposo durante el episodio doloroso



o a partir de él. Por el contrario, mantener el mayor grado de actividad física que sea posible, tanto cuando hay dolor como cuando no lo hay, mejora el riesgo y el estado de la musculatura, reduciendo el riesgo de que aparezca dolor de espalda y mejorando su evolución cuando ya se padece.

- o Los estudios también demuestran que si el dolor de espalda limita la actividad durante cierto tiempo la musculatura se atrofia fácilmente. La atrofia de la musculatura puede hacer más vulnerable la columna y dificultar que se adopten las posturas correctas, lo que a su vez puede aumentar el riesgo de padecer nuevos episodios dolorosos.
- o Un mecanismo neurológico explica que si las células que perciben el dolor en la médula y el cerebro se mantienen activadas durante cierto tiempo, aumenta la facilidad con la que se activan en el futuro, de forma que pequeños estímulos pueden volver a provocar dolor. De hecho, si su activación dura suficiente tiempo, tienden a quedarse activadas aunque desaparezca el estímulo doloroso que las activó inicialmente, en ese caso el dolor persiste aunque desaparezca su causa inicial.
- Estrés: Realmente, influye más en la percepción del dolor que en el riesgo de que aparezca, es decir, más que aumentar la probabilidad de que duela la espalda, el estrés hace que se perciba como más intenso el dolor. Probablemente se produce un doble mecanismo:
  - o El estrés puede alterar, aumentándola, la percepción del dolor.
  - o Algunos datos sugieren que el estrés puede provocar un aumento del tono muscular y facilitar la aparición de contracturas, aunque los estudios en los que se ha comparado la actividad eléctrica del músculo de pacientes estresados y no estresados han aportado resultados contradictorios.
- Insatisfacción: No sólo aumenta el riesgo de padecer dolor de espalda, sino especialmente de que los episodios se prolonguen más. Los estudios realizados en el ámbito laboral reflejan que la insatisfacción con el puesto de trabajo aumenta el riesgo de padecer dolor de espalda e incrementa el período de baja. Desde el punto de vista médico, y al margen de consideraciones laborales, el mecanismo que puede explicar su influencia podría ser doble:
  - o Un mecanismo similar al del estrés.
  - o La somatización inconsciente de la insatisfacción vital en forma de dolor de espalda.
- Personalidad: Influye en el riesgo de que aparezca dolor y, sobre todo, en el riesgo de que se convierta en crónico y en el de la limitación de la actividad que conlleve. Algunos estudios sugieren la existencia de características psicológicas propias de los

pacientes con dolor de espalda crónico, distintas a las de enfermos con otras afecciones crónicas. Estos tipos de personalidad pueden facilitar la somatización o la obsesión por el dolor de espalda, que llega a convertirse en el centro de la vida del paciente. Aunque los métodos de investigación utilizados en algunos estudios no permiten determinar si esas alteraciones son causa o consecuencia de la cronicidad del dolor, otros sugieren que ciertos tipos de personalidad podrían facilitar la perpetuación del dolor.

- El tabaquismo: La nutrición del disco es muy precaria, y basta una pequeña reducción del flujo de nutrientes para que resulte insuficiente para el metabolismo normal de sus células. El consumo de cigarrillos puede producir tal reducción debido a su efecto sobre el sistema circulatorio fuera del disco intervertebral. El transporte de nutrientes como oxígeno, glucosa o sulfato al interior del disco se reduce significativamente tras sólo 20 a 30 minutos del consumo de tabaco, lo que puede explicar la mayor incidencia de dolor lumbar en los fumadores en comparación con los no fumadores. Además, el fumador suele toser más que el no fumador, provocando, al toser, un aumento en la presión del disco intervertebral, que lo somete a una vibración, lo que aumenta su riesgo de degeneración o lesión. También, la menor musculatura que suelen tener los fumadores con respecto de los no fumadores debido a estar en peor forma física, podría facilitar la sobrecarga de las estructuras vertebrales y la aparición de dolor de espalda.
- Sedentarismo: Se han realizado muy pocos estudios para evaluar el efecto de las características de las sillas sobre el riesgo de padecer dolor o sobre su evolución, y los métodos de investigación empleados impiden asegurar con certeza que esas características tengan un efecto determinante. Sin embargo, algunos estudios realizados con escolares sugieren que las características del mobiliario influyen en el riesgo de que aparezca dolor de espalda y en su evolución a medio plazo. Así, existen datos que sugieren la conveniencia de usar sillas adaptables, que permitan la adopción de posturas correctas cuando éstas deben ser mantenidas.
- Cambios meteorológicos: Aunque no hay estudios científicos al respecto, los pacientes con dolor de espalda suelen decir con frecuencia que empeoran con los cambios del tiempo. Una explicación podría ser la variación de la presión atmosférica. Tanto en el interior de los discos intervertebrales, especialmente si están degenerados, como en las articulaciones, incluyendo la articulación facetaria, hay vacío (presión cero). Ese vacío facilita que los huesos se mantengan juntos. El descenso de la presión atmosférica podría causar un efecto de succión que agravara la eventual inflamación existente en la zona. Eso explicaría que el dolor apareciera o se agravara al disminuir la presión atmosférica, es decir, unas horas antes de que cambie el tiempo.
- Sobrepeso y altura excesiva: Durante años se ha creído que el sobrepeso y la altura

excesiva suponían un incremento de la carga que soporta la columna vertebral y aumentaba por ello el riesgo de padecer dolor de espalda. Sin embargo, cuando se han hecho estudios para comprobar si eso realmente era así, se han obtenido resultados contradictorios, demostrando que, contrariamente a lo que se creía antes, su efecto no es tan relevante. En definitiva, actualmente no se puede afirmar con certeza que el sobrepeso o la altura excesiva aumenten el riesgo de padecer dolor de espalda, y sí se ha comprobado que, si realmente tiene una influencia, ésta es mínima.

#### 5.5.4. PATOLOGÍA

En ocasiones la coalescencia de las láminas no se logra completar y consecuentemente queda una hendidura en los arcos de las vértebras, por la cual protruye las meninges y generalmente la propia médula espinal, constituyendo una malformación denominada espina bífida. La condición es más común a nivel lumbosacra, pero puede ocurrir en otras regiones.

Hay otros problemas que pueden alterar la estructura de la columna o lesionar las vértebras y el tejido que las rodea, como:

- Infecciones.
- Traumatismos.
- Tumores.
- Enfermedades.
- Cambios óseos que ocurren con la edad, tales como estenosis espinal y hernias de disco.

Con frecuencia, las enfermedades de la columna provocan dolor cuando los cambios óseos presionan la médula o los nervios. También pueden limitar el movimiento.

También se dan curvaturas anormales de la columna, como:

- Hipercifosis: Es una exagerada cifosis a nivel torácico, coloquialmente se le conoce como *joroba*, común en personas mayores y secundaria a osteoporosis
- Hiperlordosis: Lordosis exagerada a nivel lumbar. Resulta común entre las mujeres embarazadas.
- Listesis: Puede ser anterolistesis o retrolistesis dependiendo si el desplazamiento del cuerpo vertebral es hacia adelante o hacia atrás con respecto a la vértebra adyacente.
- Escoliosis: Curvatura lateral, es la más común de las curvaturas anormales, ocurre en un 0,5% de las personas. Es más frecuente en mujeres y puede ser el producto de un crecimiento desigual de las caras de una o más vértebras. Puede provocar atelectasias pulmonares y problemas respiratorios de tipo restrictivos.

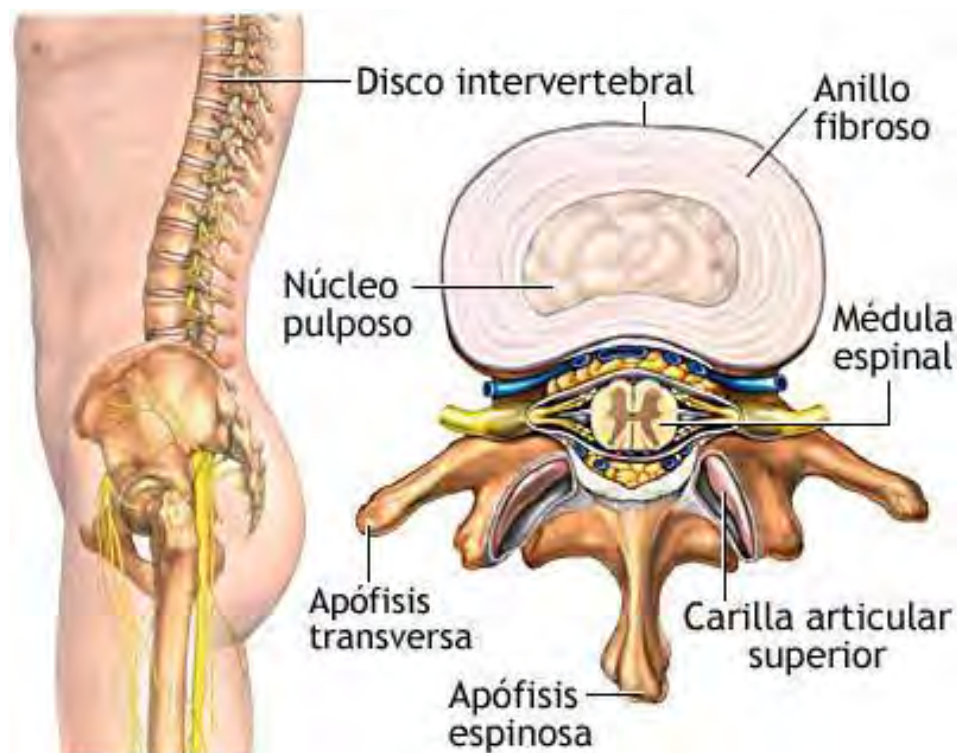
## 5.6. DISCOS INTERVERTEBRALES

### 5.6.1. ANATOMÍA

Los discos intervertebrales son los discos que separan las vértebras de la columna vertebral. Cada uno forma un amortiguamiento cartilaginoso que permite ligeros movimientos de las vértebras y actúa como el ligamento que las mantiene juntas. El disco intervertebral es una estructura situada entre dos vértebras adyacentes a nivel tanto cervical como dorsal y lumbar.

En la columna vertebral del ser humano existen 24 discos intervertebrales, intercalados entre los cuerpos vertebrales, con los que forman el componente anterior, frontal, de la columna vertebral, mientras que las superficies articulares, las apófisis transversas y espinosas forman los elementos posteriores, traseros. El tamaño de los discos aumenta según se va descendiendo por la columna, hasta alcanzar unos 45 mm. en sentido anteroposterior, 64 mm. en sentido lateral y 11 mm. de altura en la región lumbar.

Los discos intervertebrales ocupan alrededor de la tercera parte de la columna. Dado que no sólo proporcionan flexibilidad a ésta, sino que también transmiten carga, su comportamiento mecánico posee una gran influencia sobre la mecánica de toda la columna. Una elevada proporción de casos de dolor lumbar guardan relación con el disco, ya sea directamente a través de una hernia de disco, o indirectamente porque los discos degenerados someten a una tensión excesiva a otras estructuras de la columna.



Anatomía de un disco intervertebral.

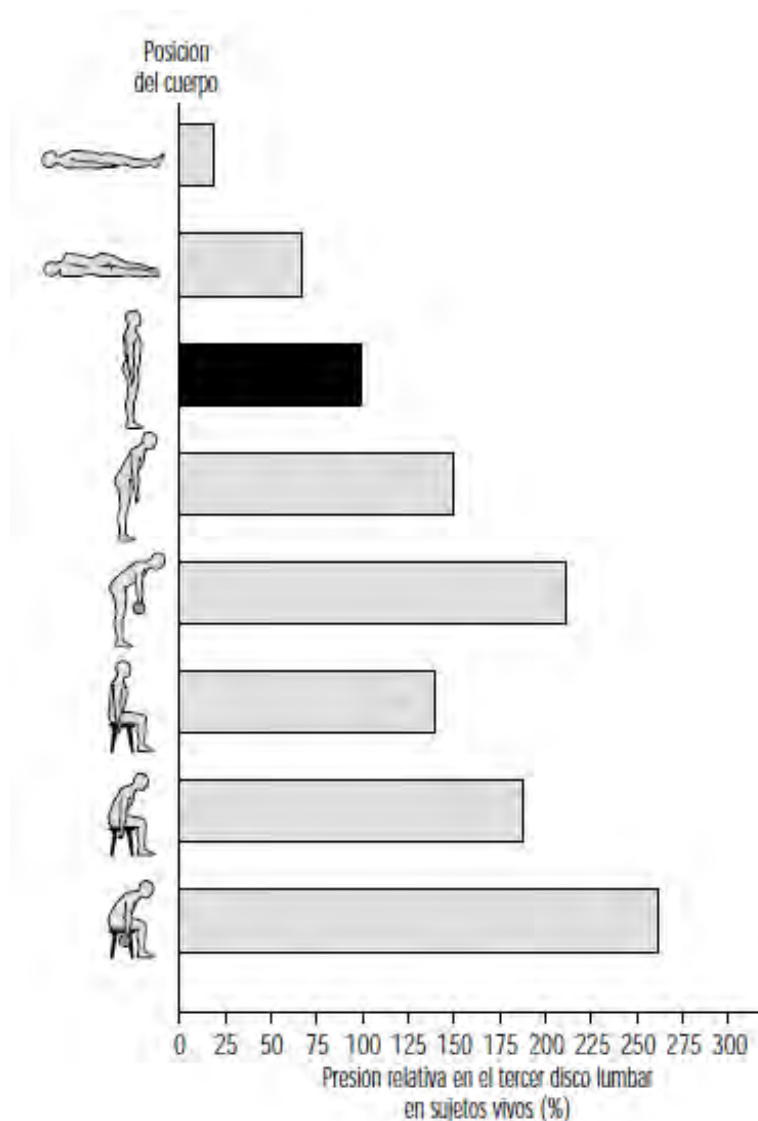


El disco está formado por tejido cartilaginoso y consta de tres regiones diferenciadas. La región interna, núcleo pulposo, es una masa gelatinosa, sobre todo en las personas jóvenes. La región externa del disco, anillo fibroso, es firme y en forma de banda. Las fibras del anillo están entrelazadas de tal forma que le permiten resistir fuerzas elevadas de flexión y de torsión. Al aumentar la edad el núcleo pierde agua, aumenta su firmeza y la diferencia entre las dos regiones resulta menos clara que en edades anteriores. La tercera región es la fina capa de cartílago hialino que separa el disco del hueso. En la edad adulta, tanto la placa basal de cartílago como el propio disco carecen normalmente de vasos sanguíneos propios, y dependen del aporte sanguíneo de los tejidos adyacentes, como los ligamentos y los cuerpos vertebrales, para el transporte de nutrientes y la eliminación de productos de desecho. Sólo está inervada la porción externa del disco.

El disco, al igual que otros cartílagos, está formado fundamentalmente por una matriz de fibras colágenas, incluidas en un gel de proteoglucano, y agua que, en conjunto, constituyen el 90-95 % de la masa tisular total, aunque las proporciones varían según la localización en el interior del disco y la edad y el estado de degeneración. Dispersas por toda la matriz existen células responsables de la síntesis y el mantenimiento de sus distintos componentes.

## 5.6.2. FISIOLOGÍA

La principal función del disco es mecánica. El disco transmite la carga a lo largo de la columna vertebral y también permite su curvatura y torsión. Los discos amortiguan las cargas que proceden del peso corporal y de la actividad muscular y estabilizan el movimiento entre vértebras. Estas cargas que soportan los discos se modifican con la postura.



Presiones intradiscales relativas en diferentes posturas, en comparación con la presión en bipedestación erecta (100 %).

Fuente: INSHT Capítulo 6, adaptado de Nachemson 1992

Durante las actividades diarias el disco está sometido a cargas complejas. La extensión o la flexión de la columna producen sobre todo fuerzas de tracción y de compresión sobre el disco, que aumentan de magnitud según se desciende por la columna, debido a las diferencias en el peso y en la geometría corporal. La rotación de la columna produce tensiones transversales (de cizallamiento).

Los discos están sometidos a presión, que varía con la postura desde alrededor de 0,1 a 0,2 MPa en reposo hasta alrededor de 1,5 a 2,5 MPa con la curvatura y la elevación. La presión en el disco normal se debe fundamentalmente a la presión de agua a través del núcleo y del anillo interno. Cuando aumenta la carga que soporta el disco, la presión se distribuye de modo uniforme a través de la placa terminal y por todo el disco.

Durante la carga, el disco se deforma y pierde altura. La placa basal y el anillo se abomban, aumentando la tensión sobre estas estructuras y, en consecuencia, se eleva la presión del núcleo. El grado de deformación del disco depende de la velocidad de producción de la carga. El disco puede experimentar una deformidad considerable, comprimiéndose o extendiéndose de un 30 a un 60% durante la flexión y la extensión. Las distancias entre las apófisis espinosas adyacentes pueden aumentar en más de un 300%. Si la carga se retira en unos segundos, el disco vuelve rápidamente a su estado anterior, **pero si la carga se mantiene, el disco continúa perdiendo altura. Este "aplastamiento" es** consecuencia de la deformación continua de las estructuras del disco, y también de la pérdida de líquidos, ya que el disco pierde líquido como consecuencia del aumento de presión. Durante las actividades diarias, cuando el disco está sometido a presiones mucho mayores, se pierde lentamente entre el 10 y el 25% del líquido del disco, que se recupera al descansar tumbados. Esta pérdida de agua puede dar lugar una disminución de 1 a 2 cm. de estatura desde la mañana hasta la noche en los trabajadores de día.

A medida que cambia la composición del disco a causa de la edad o de la degeneración, también cambia su respuesta a las cargas mecánicas. Con la pérdida de proteoglucanos y, por tanto, del contenido de agua, el núcleo ya no puede responder de forma tan eficaz. Este cambio da lugar a tensiones no uniformes a través de la placa terminal y de las fibras del anillo y, en los casos de degeneración grave, a la protrusión hacia adentro de las fibras internas cuando el disco recibe una carga, lo que a su vez puede generar tensiones anormales sobre otras estructuras del disco, lo que finalmente ocasiona su fracaso. La velocidad de aplastamiento también está aumentada en los discos degenerados, que de esta forma pierden altura más rápidamente que los discos normales sometidos a la misma carga. El estrechamiento del espacio del disco afecta a otras estructuras de la columna, como los músculos y ligamentos y, en particular, conduce a un aumento de la presión en las facetas articulares, que puede ser la causa de los cambios degenerativos que se observan en ellas en las columnas con discos anormales.

### 5.6.3. FACTORES DE RIESGO

Conforme se expuso en el capítulo anterior (Columna Vertebral) los factores de riesgo de los discos intervertebrales son, entre otros, los siguientes:

- Flexo-extensión repetida de la columna.
- Torsión o rotación frecuente de la columna.



- Esfuerzos.
- Vibraciones.
- Molestias en la cama.
- El tabaquismo.
- Cambios meteorológicos.

#### 5.6.4. PATOLOGÍA

Entre las enfermedades y lesiones principales de los discos intervertebrales podemos encontrarnos la escoliosis, la espondilolistesis, discos rotos, enfermedades degenerativas del disco, la estenosis espinal o la hernia discal.

La escoliosis es una curvatura lateral de la columna vertebral en la que tanto los discos intervertebrales como los cuerpos vertebrales están acunados. Se suele asociar a torsión o rotación de la columna. Debido a la forma en que las costillas están unidas a las vértebras, ello da lugar a una *joroba costal*, visible cuando el individuo afectado se inclina hacia adelante. La escoliosis puede ser debida a un defecto congénito de la columna, como en el caso de las hemivértebras en forma de cuña, o surgir secundariamente a trastornos como la distrofia neuromuscular. Sin embargo, en la mayor parte de los casos la causa es desconocida, por lo que se denomina escoliosis idiopática. El dolor rara vez constituye un problema, y el tratamiento se realiza sobre todo para detener el desarrollo posterior de la curvatura lateral de la columna.

La espondilolistesis es un desplazamiento horizontal hacia delante de una vértebra con relación a otra. Puede ser consecuencia de una fractura en el puente óseo que conecta las porciones frontal y posterior de la vértebra. Obviamente, el disco intervertebral situado entre estas dos vértebras está estirado y sometido a cargas anormales. La matriz de este disco y, en menor grado, de los discos adyacentes, muestra cambios degenerativos típicos en su composición, como pérdida de agua y de proteoglucanos. Este proceso se puede diagnosticar radiológicamente.

La rotura de disco, rotura del anillo posterior, es bastante frecuente en los jóvenes o adultos de edad mediana físicamente activos. No se puede diagnosticar por radiología a menos que se realice discografía, con inyección de un material radiópaco en el centro del disco, siguiendo el recorrido del líquido es posible demostrar la existencia de un desgarró. En ocasiones, fragmentos aislados y secuestrados de material del disco atraviesan este desgarró y llegan hasta el canal vertebral. La irritación o la compresión del nervio ciático produce un dolor intenso y parestesias, ciática, en la extremidad inferior.

La enfermedad degenerativa del disco es la denominación dada a un grupo mal definido de pacientes que presentan dolor lumbar. Pueden mostrar cambios radiológicos, como disminución de la altura del disco y posiblemente formación de osteofitos en el borde de

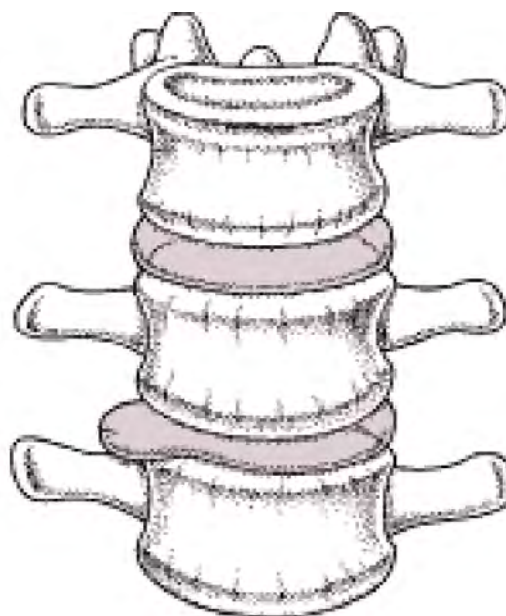


los cuerpos vertebrales. Este grupo de pacientes podría representar el estado final de varios estados fisiopatológicos. Por ejemplo, los desgarros anulares no tratados pueden adoptar finalmente esta forma.

El estrechamiento del canal vertebral que se produce en la estenosis espinal ocasiona compresión mecánica de las raíces de los nervios espinales y de su aporte sanguíneo, con lo que puede dar lugar a síntomas como debilidad, alteración de los reflejos, dolor o pérdida de la sensibilidad (parestesias) o, en ocasiones, no presentar síntomas. El estrechamiento del canal puede, a su vez, estar causado por diversos factores, incluida la protrusión del disco intervertebral en el espacio del canal, la formación de hueso nuevo en las superficies articulares y la presencia de artritis con inflamación de otros tejidos conjuntivos blandos.

La hernia discal es una enfermedad en la que el núcleo pulposo del disco intervertebral se desplaza hacia la raíz nerviosa, la presiona y produce lesiones neurológicas derivadas de esta lesión. Pueden ser contenidas, solo deformación, también llamada protrusión discal, o con rotura. Las hernias corresponden a la mayor incapacidad en personas menores de 45 años. Alrededor del 1% de la población posee discapacidad crónica por este motivo. Son frecuentes en personas con enfermedades genéticas que afectan al tejido conectivo como el Síndrome de Ehlers-Danlos y el Síndrome de Hiperlaxitud articular.

La hernia provoca dolor en la zona lumbar. Duele por inflamación el periostio de las vértebras, las articulaciones, la duramadre, el anillo fibroso, el ligamento vertebral longitudinal posterior y los músculos lumbares de la columna. Una hernia discal puede producir una serie de manifestaciones clínicas, entre las más frecuentes están el lumbago y la ciática.



Disco intervertebral superior normal e inferior herniado.



Al romperse un disco en la columna vertebral, el material blando de su interior se escapa a través de un área débil de la capa dura exterior. La rotura de un disco causa dolor y, a veces, lesiona los nervios.

La lumbalgia se produce cuando se distienden los músculos lumbares produciendo un dolor que impide el libre movimiento de esa zona de la cintura. Las causas de la lumbalgia son múltiples. Puede deberse a malas posturas, factores relacionados con la actividad física del individuo o factores psicológicos. La lumbalgia se acompaña de dolor, sensación de hormigueo o dificultad para el movimiento de la pierna del mismo lado. Se debe a la compresión o pinzamiento del nervio ciático o a una hernia de disco.

La ciática se manifiesta de manera unilateral, afecta al nervio lumbar (L5) o ciático (S1). Produce dolor y debilidad sólo en el nervio afectado, provocando parestesia local. Si está afectado S1 se ven comprometidos los músculos sóleo, gastrocnemios y glúteo mayor. Si está afectado L5 se ven comprometidos los músculos extensor propio del dedo mayor, peroneo y glúteo medio. Estos músculos son indispensables para poder caminar, afectando la extremidad inferior.

La hernia discal aparece sintomáticamente después de hacer o someterse a movimientos o gestos bruscos, hacer fuerzas excesivas sin tener en cuenta la posición correcta al agacharse o ponerse en pie y la aparición del dolor en general es inmediata a estos excesos. Las hernias discales más frecuentes son las lumbares y las cervicales. También es frecuente la aparición de hernia discal entre la quinta vértebra lumbar y la primera vértebra sacra (denominadas L5-S1), causante de una molestia persistente acompañada de trastornos sensitivos tales como hormigueo o pérdida de la sensibilidad e irritabilidad motora, así como disminución del reflejo predominantemente Aquiliano del lado afectado. El tratamiento de estas dolencias es prolongado y el alivio del paciente es muy lento, debido a la compresión de los nervios interdiscales.

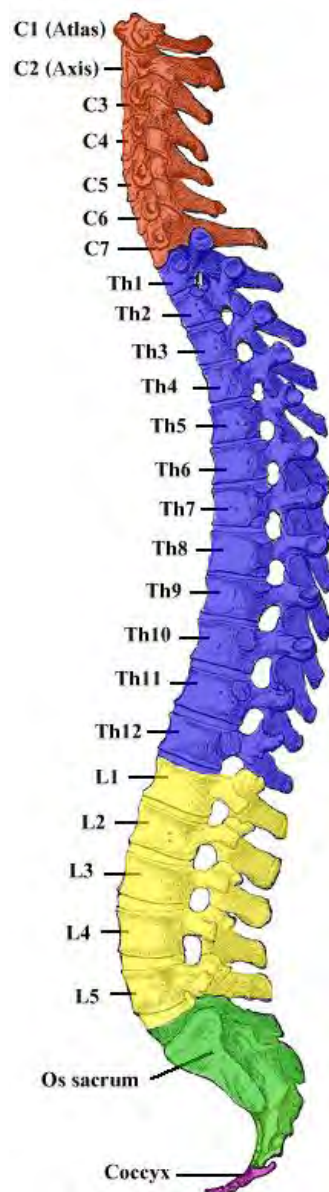
Aunque la realización de ejercicios específicamente recomendados, realizados con disciplina y continuidad, y la fisioterapia pueden ayudar bastante a mejorar los síntomas y dolores derivados de la ciática, en realidad, no existe tratamiento efectivo a largo plazo a excepción de la cirugía. En los casos en que hay que recurrir a la cirugía, se extrae el disco dañado y se sueldan las vértebras para que no se muevan.

## 5.7. REGIÓN DE LA COLUMNA LUMBAR

### 5.7.1. ANATOMÍA

Debido a la postura de bipedestación del ser humano, la estructura de la parte inferior de la columna vertebral, columna lumbosacra, difiere anatómicamente de la de la mayoría de los restantes vertebrados. La posición erecta también hace aumentar las fuerzas mecánicas que actúan sobre las estructuras de la columna lumbosacra. Normalmente, en el ser humano, la columna lumbar posee cinco vértebras, el sacro es rígido, y el cóccix carece de función.

La columna lumbar es la zona de la columna vertebral situada entre la pelvis y la caja torácica y, como ya se ha dicho, tiene 5 vértebras, abreviadas como L1 a L5 (la mayor).



La región lumbar de la columna vertebral corresponde a la zona amarilla, vértebras de la L1 a L5 (mayor).

La forma y tamaño de cada una de las vértebras lumbares está diseñado para cargar la mayor parte del peso corporal. Cada uno de los elementos estructurales de una vértebra lumbar es más grande, más ancho y más amplio que los componentes similares ubicados en las regiones cervical y torácica. Cada vértebra está formada por un cuerpo vertebral y un arco vertebral que está unido al cuerpo vertebral correspondiente por dos pedículos. Las uniones óseas son posteriores: las apófisis espinosas (los huesos que se pueden palpar a lo largo de toda la espalda), las apófisis transversas y las apófisis articulares. Las apófisis transversas sirven como soporte para la fijación de los músculos, mientras que las apófisis articulares, bilaterales, actúan como articulaciones posteriores que conectan cada vértebra a la vértebra adyacente, permitiendo el movimiento del disco intervertebral correspondiente sobre la parte anterior de la columna vertebral. La columna lumbar tiene un rango de movimiento mayor que la columna torácica, pero menor que la cervical. Las articulaciones facetarias lumbares permiten que exista bastante extensión y flexión, pero limitan la rotación.



Vista frontal y lateral de la columna vertebral. Vista lateral de las diferentes vértebras de la columna vertebral.

Los discos intervertebrales, las cápsulas articulares y los ligamentos mantienen las vértebras unidas y controlan la amplitud del movimiento segmentario. La pared posterior de la vértebra, el arco óseo y el ligamento amarillo que va de un arco a otro forman un tubo (canal vertebral) que contiene la parte distal de la médula espinal y los nervios raquídeos. Cada segmento tiene dos agujeros laterales a través de los cuales salen las raíces nerviosas correspondientes hacia la periferia.

La médula espinal termina a la altura de las vértebras lumbares más altas (L1-L2). El canal

vertebral lumbar está lleno por la extensión de la médula espinal denominada cola de caballo, formada por las raíces de los nervios espinales. Las raíces de los nervios salen por pares del canal vertebral a través de los agujeros intervertebrales. Cada una de las raíces de los nervios espinales da una rama que inerva los tejidos de la espalda. Se trata de terminaciones nerviosas que transmiten sensaciones dolorosas (terminaciones nociceptivas) de músculos, ligamentos y articulaciones. En un disco intervertebral sano no existen tales terminaciones nerviosas, excepto en las porciones más externas del anillo.

Los músculos son los responsables de la estabilidad y del movimiento de la espalda. Los músculos de la espalda doblan el tronco hacia atrás (extensión), mientras que los músculos abdominales lo doblan hacia adelante (flexión). La fatiga debida a la carga mantenida o repetitiva o al esfuerzo excesivo brusco de músculos o ligamentos puede ocasionar dolor lumbar, aunque el origen exacto de este dolor es difícil de localizar. Existe controversia acerca del papel de las lesiones de tejidos blandos en los trastornos lumbares.

### 5.7.2. FISIOLOGÍA

Las funciones principales de la columna lumbar son proteger los nervios raquídeos y facilitar gran parte del movimiento del tronco. Los cinco cuerpos vertebrales mantienen la distancia y transmiten las cargas desde el tórax hasta la pelvis. Además, sirven como puntos de anclaje para los músculos.

### 5.7.3. FACTORES DE RIESGO

En los estudios epidemiológicos se ha encontrado de forma bastante constante que el dolor lumbar, la ciática o la hernia de disco intervertebral y los cambios degenerativos de la columna lumbar se asocian al trabajo físico pesado. Se sabe poco, no obstante, sobre los límites aceptables de carga física que puede soportar la espalda.

El dolor lumbar se relaciona con el levantamiento, el transporte, el empuje o la tracción de cargas frecuentes o pesadas. Se producen fuerzas de tracción elevadas dirigidas contra los músculos y ligamentos, así como una elevada compresión sobre las superficies óseas y articulares. Como se ha explicado en capítulos anteriores, estas fuerzas pueden producir lesiones mecánicas de los cuerpos vertebrales, los discos intervertebrales, los ligamentos y las partes posteriores de las vértebras. Las lesiones pueden estar causadas por sobrecargas bruscas o por fatiga debida a la carga repetitiva. Los microtraumatismos repetidos, que pueden ocurrir incluso sin que la persona sea consciente de ello, han sido propuestos como causa de la degeneración de la columna lumbar.

El dolor de espalda también se asocia a las torsiones, curvaturas u otras posturas no neutras del tronco adoptadas de forma frecuente o prolongada. El movimiento es necesario para la nutrición del disco intervertebral, y las posturas estáticas pueden alterar

la nutrición. En otros tejidos blandos puede aparecer fatiga. Asimismo, la posición sedente prolongada en una postura aumenta el riesgo de padecer dolor lumbar. Se ha observado que la conducción prolongada de vehículos de motor aumenta el riesgo de padecer dolor lumbar y ciática o hernia discal. Los conductores están expuestos a una vibración de todo el cuerpo que posee un efecto adverso sobre la nutrición del disco. También pueden contribuir al riesgo los impulsos súbitos de carreteras bacheadas, la tensión postural y la manipulación de materiales por parte de los conductores profesionales.

Una causa evidente de lesiones en la espalda es el traumatismo directo causado por accidentes como caídas o resbalones. Además de las lesiones agudas, existen pruebas de que las lesiones traumáticas de la espalda contribuyen de forma sustancial al desarrollo de síndromes lumbares crónicos.

El dolor lumbar se asocia a diversos factores psicosociales laborales, como el trabajo monótono y el realizado con agobio de tiempo, así como el escaso apoyo social por parte de los compañeros y superiores. Los factores psicosociales afectan a la comunicación y a la recuperación del dolor lumbar, pero existe controversia acerca de su papel etiológico.

Existen diferentes factores de riesgo individuales para la región lumbar, como se ha dicho en el capítulo de la columna vertebral, como puede ser la estatura y el sobrepeso, la aptitud física, el tabaquismo, los factores estructurales y psicológicos.

Existe una variación considerable en cuanto a la movilidad de la columna lumbar en las distintas personas. Las que tienen dolor lumbar agudo y crónico presentan una movilidad reducida, pero en estudios prospectivos la movilidad no ha resultado un factor de predicción de la incidencia de dolor lumbar.

El conocimiento acumulado a partir de estudios epidemiológicos sobre los factores de riesgo es en gran medida cualitativo y, por tanto, sólo proporciona directrices amplias para la planificación de programas preventivos. Existen tres métodos principales para la prevención de los trastornos lumbares relacionados con el trabajo: diseño ergonómico del trabajo, educación y formación y selección del trabajador:

- Educación y formación: Los trabajadores deben recibir formación para realizar su trabajo adecuadamente y con seguridad. La educación y la formación de los trabajadores en el levantamiento seguro de pesos están muy implantadas, pero los resultados no han sido convincentes. Existe acuerdo general en que es beneficioso mantener la carga próxima al cuerpo y evitar las sacudidas y torsiones, pero en cuanto a las ventajas de realizar el esfuerzo con las piernas o con la espalda, las opiniones de los expertos son contradictorias.

Si se aprecia un desequilibrio entre las exigencias del trabajo y la fuerza de los trabajadores y no es posible un nuevo diseño del trabajo, debe facilitarse a los

trabajadores un programa de preparación física.

En la prevención de la discapacidad debida a dolor o cronicidad lumbar, la educación de la espalda se ha mostrado eficaz en los casos subagudos, y la preparación física general en los casos subcrónicos.

Es preciso extender también la formación al personal directivo en aspectos como la intervención precoz, el tratamiento conservador inicial, el seguimiento del paciente, la asignación de puestos de trabajo y la aplicación de las normas de seguridad. Los programas activos pueden reducir significativamente las indemnizaciones por discapacidad prolongada y las tasas de accidentes.

El personal médico debe recibir formación acerca de los beneficios de las técnicas de intervención precoz, tratamiento conservador, seguimiento del paciente y asignación al puesto de trabajo.

- Diseño ergonómico del trabajo: Es creencia extendida que el medio más eficaz para prevenir los trastornos lumbares relacionados con el trabajo es el diseño de éste. Una intervención ergonómica debería tener en cuenta los parámetros de la siguiente tabla.

PARÁMETROS	EJEMPLO
Carga	El peso del objeto manipulado, el tamaño del objeto manipulado.
Diseño del objeto	La forma, situación y tamaño de las asas.
Técnica de levantamiento	La distancia desde el centro de gravedad del objeto y el trabajador, movimientos de giro.
Distribución del lugar de trabajo	Las características espaciales de la tarea, como la distancia de transporte, la amplitud de movimiento, los obstáculos como escaleras.
Diseño de la tarea	Frecuencia y duración de las tareas.
Psicología	Satisfacción en el trabajo, autonomía y control, expectativas.
Ambiente	Temperatura, humedad, ruido, tracción con el pie, vibración corporal total.
Organización del trabajo	Trabajo en equipo, incentivos, turnos, rotación de tareas, ritmo de la máquina, seguridad en el trabajo.

TABLA Parámetros que deben considerarse para reducir los riesgos de dolor lumbar en el trabajo.

La mayor parte de las intervenciones ergonómicas modifican las cargas, el diseño de los objetos manipulados, las técnicas de levantamiento, la disposición del lugar de trabajo y el diseño de la tarea. La eficacia de estas medidas para controlar la aparición de dolor lumbar o de los costes médicos no se ha demostrado claramente. Quizá lo más eficaz sea reducir las cargas máximas. Se ha sugerido un método que consiste en diseñar un trabajo de modo que entre dentro de la capacidad física de un gran porcentaje de la población trabajadora (Waters y cols. 1993). En los trabajos estáticos, puede lograrse la restauración de la movilidad mediante la



reestructuración, la rotación o el enriquecimiento del puesto de trabajo.

- Selección del trabajador: En general, la selección de los trabajadores previa al empleo no se considera una medida adecuada de prevención del dolor lumbar relacionado con el trabajo. Ni los antecedentes de problemas lumbares previos, ni las radiografías de la columna lumbar, ni las pruebas generales de fuerza y de aptitud física han demostrado una sensibilidad ni una especificidad suficiente para identificar a las personas con un mayor riesgo de padecer futuros problemas lumbares. La utilización de estas medidas en la selección previa al empleo puede dar lugar a una discriminación indebida de ciertos grupos de trabajadores. Existen, no obstante, algunos grupos profesionales especiales, como bomberos y policías, en los que la selección previa al empleo se considera adecuada.



#### 5.7.4. PATOLOGÍA

El dolor lumbar es un achaque frecuente en las poblaciones en edad laboral. Alrededor del 80 % de las personas experimentan dolor lumbar en algún momento de su vida, y se trata de una de las causas más importantes de discapacidad de corta o de larga duración en todos los grupos profesionales. Según la etiología, el dolor lumbar se puede clasificar en seis grupos: mecánico, infeccioso, inflamatorio, metabólico, neoplásico y visceral.

En la mayoría de las personas, el dolor lumbar tiene causas mecánicas, entre las que se encuentran el esguince o distensión lumbosacra, la enfermedad degenerativa del disco, la espondilolistesis, la estenosis espinal y la fractura. Una característica del dolor lumbar mecánico es que aparece de forma episódica, y en la mayor parte de los casos la evolución natural es favorable. En cerca de la mitad de los casos agudos, el dolor cede en dos semanas, y en casi el 90% lo hace en dos meses. Se calcula que se cronifica uno de cada diez casos, y es este grupo de pacientes con dolor lumbar el responsable de la mayor proporción de los costes debidos a trastornos lumbares.

Las estimaciones sobre la prevalencia del dolor lumbar varían dependiendo de las definiciones utilizadas en las diferentes investigaciones. Las tasas de prevalencia de los síndromes dolorosos lumbares en la población general finlandesa de más de 30 años demuestra que tres de cada cuatro personas han experimentado dolor lumbar, y una de cada tres, dolor ciático, en algún momento de su vida. Cada mes, una de cada cinco personas padece dolor lumbar o ciático y, en un momento dado, una de cada seis personas padece un síndrome doloroso lumbar clínicamente verificable. La ciática o hernia del disco intervertebral es menos frecuente y afecta al 4% de la población. Alrededor de la mitad de las personas con síndrome de dolor lumbar presentan alteraciones funcionales, que son graves en el 5%. La ciática es más frecuente en los varones, aunque otros trastornos lumbares son igualmente frecuentes en ambos sexos. El dolor lumbar es relativamente raro antes de los 20 años de edad, pero a partir de entonces se produce un aumento continuo de la prevalencia hasta los 65 años de edad, cuando comienza a descender.

La prevalencia de cambios degenerativos en la columna lumbar aumenta con la edad. Alrededor de la mitad de los varones de 35 a 44 años y nueve de cada diez varones de 65 o más años de edad presentan signos radiográficos de degeneración discal en la columna lumbar. Se observa degeneración grave en el 5 y el 38%, respectivamente. Los cambios degenerativos son algo más frecuentes en los varones. Las personas con cambios degenerativos en la columna lumbar presentan dolor lumbar con más frecuencia que las que no los presentan, aunque también entre las personas asintomáticas son frecuentes los cambios degenerativos. En la imagen por resonancia magnética se ha encontrado degeneración discal en el 6 % de las mujeres asintomáticas de menos de 20 años de edad

y en el 79 % de aquellas con edades iguales o superiores a 60 años.

En general, el dolor lumbar es más frecuente en los trabajadores manuales que en los no manuales. En Estados Unidos, las personas que manipulan materiales, los ayudantes de enfermería y los conductores de camiones presentan las mayores tasas de lesiones de espalda objeto de indemnizaciones.

En los estudios epidemiológicos se ha encontrado de forma bastante constante que el dolor lumbar, la ciática o la hernia de disco intervertebral y los cambios degenerativos de la columna lumbar se asocian al trabajo físico pesado. Se sabe poco, no obstante, sobre los límites aceptables de carga física que puede soportar la espalda.

La ciática es un conjunto de síntomas que incluyen dolor que puede ser causada por la compresión general o irritación de una de las cinco raíces de los nervios espinales que dan origen a cada nervio ciático, o por la compresión o irritación de la izquierda o hacia la derecha o ambos nervios ciáticos. El dolor se siente en la zona lumbar, glúteos, o diversas partes de la pierna y el pie. Además del dolor puede haber entumecimiento, debilidad muscular, hormigueo o sensación de hormigueo y dificultad en el movimiento o el control de la pierna. Típicamente, los síntomas sólo se sienten en un lado del cuerpo. A pesar de que la ciática es una forma relativamente común de dolor de espalda baja y dolor en las piernas, el verdadero significado del término es a menudo mal entendido. La ciática es un conjunto de síntomas más que un diagnóstico de lo que irrita la raíz del nervio, causando el dolor. Este punto es importante, porque el tratamiento para los síntomas de la ciática suele ser diferente, dependiendo de la causa subyacente de los síntomas.

Llamamos hiperlordosis lumbar al aumento de la curvatura lordótica instaurada en el esquema corporal de la persona. La hiperlordosis lumbar puede observarse externamente, en bipedestación relajada, y medirse objetivamente a través de radiografías. Una curvatura que sea superior a 70° de angulación se considera hiperlordótica, ángulo medido entre las superficies superiores de L1 y S1). Aunque en algunos casos su causa es desconocida, la hiperlordosis lumbar puede venir dada por el acortamiento de la musculatura flexora de la cadera, principalmente del psoas-ilíaco. Este fenómeno es relativamente frecuente debido a los hábitos sedentarios y a la falta de ejercicio físico que caracterizan a las sociedades modernas. Al estar sentados, el origen y la inserción de estos músculos se acercan entre sí. Con el tiempo, se adaptan a esta posición acortándose o reduciendo su capacidad de elongación.

A menudo no es posible determinar el origen exacto del dolor lumbar, lo que se refleja en las dificultades para la clasificación de los trastornos lumbares. En gran medida, la clasificación se basa en las características de los síntomas, apoyadas por la exploración física clínica y por los resultados de las técnicas de imagen. Básicamente, en la exploración clínica es posible diagnosticar a los pacientes con ciática causada por compresión y/o

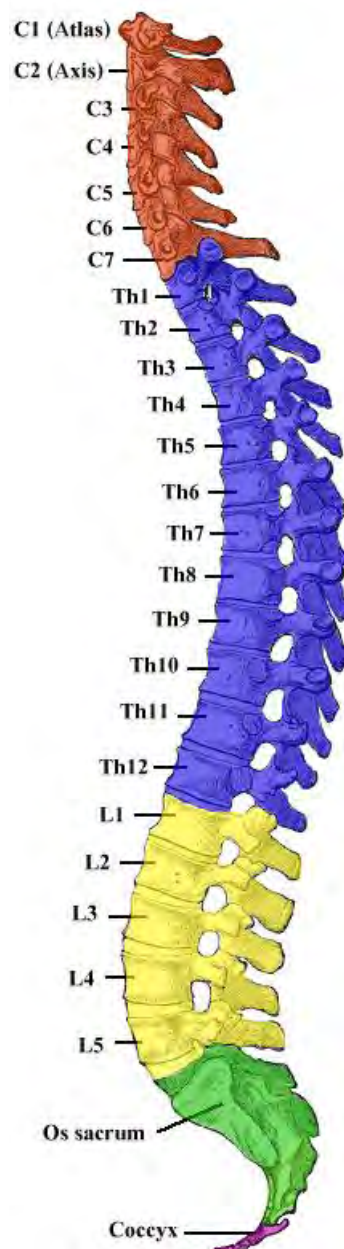


inflamación de una raíz nerviosa espinal. En cuanto a otras muchas entidades clínicas, como el síndrome facetario, la fibrositis, los espasmos musculares, el síndrome compartimental lumbar o el síndrome sacroilíaco, la verificación clínica se ha mostrado poco fiable.

## 5.8. REGIÓN DE LA COLUMNA DORSAL

### 5.8.1. ANATOMÍA

La columna dorsal está formada por doce vértebras del tórax. La curvatura dorsal es cóncava hacia adelante, comienza en la mitad de la segunda y termina en la mitad de la duodécima vértebra dorsal. Su punto de curvatura más prominente corresponde con la apófisis espinosa de la séptima vértebra dorsal. La vértebra Th1 (primera dorsal) se articula con C7. Las diez primeras vértebras dorsales se distinguen por la presencia de caras costales que articulan con las costillas respectivas. Con la articulación de las costillas con el esternón se conforma la caja torácica.



La región dorsal de la columna vertebral corresponde a la zona azul, vértebras de la Th1 a Th12.

Las últimas dos vértebras dorsales, Th11 y Th12, se articulan con las costillas falsas, aquellas que no se articulan con el esternón. El tamaño del cuerpo de estas vértebras está entre el tamaño de las vértebras cervicales y las lumbares. La columna dorsal o torácica permite movimientos de flexión, extensión, rotación y flexión lateral. Aloja a la médula espinal dorsal a lo largo del conducto raquídeo y a través de orificios laterales de cada vértebra salen las doce raíces dorsales o nervios intercostales hacia los huesos, músculos, ligamentos y la piel en la región torácica

Los segmentos dorsales disponen de movimientos de flexión y extensión y de movimientos acoplados de inclinación y rotación hacia el mismo lado, o hacia lados opuestos. Los movimientos acoplados dependen de muchos factores, incluyendo si los segmentos implicados se encuentran por encima o por debajo del ápex de la cifosis dorsal, o de si primero se realiza la inclinación o la rotación. La norma general es que si se efectúa la inclinación con la columna dorsal en posición neutra, la rotación se produce hacia el lado contrario, a lo que se denomina movilidad vertebral neutra. Sin embargo, si primero se produce la rotación, la inclinación y la rotación se producen hacia el mismo lado, movilidad vertebral no neutra.

### 5.8.2. FISIOLOGÍA

Como se ha dicho anteriormente en los capítulos de la *Columna vertebral* y de la *Región de la columna lumbar* las funciones principales de la región de la columna dorsal son cuatro:

- Capacidad de mantener el tronco erguido.
- Articular los movimientos del tronco.
- Punto de anclaje a músculos y órganos internos.
- Protección de la médula espinal.

### 5.8.3. FACTORES DE RIESGO

Las causas de dolor en la región dorsal de la columna son multifactoriales y a menudo oscuras. Los síntomas surgen en muchos casos debido a un uso excesivo, a un estiramiento excesivo y/o habitualmente a roturas leves de los tejidos blandos. Existen también, no obstante, numerosos trastornos específicos que pueden ocasionar dolor de espalda, como son los enunciados en capítulos anteriores.

### 5.8.4. PATOLOGÍA

Los síntomas y signos más comunes en la región superior de la espalda y la columna son dolor, hiperestesia, debilidad, rigidez y/o deformidad de la espalda. El dolor es mucho más frecuente en la región lumbar de la espalda y en el cuello que en la región dorsal. Además de los síntomas locales, los trastornos dorsales pueden ocasionar dolor que se irradia a la



región lumbar y a las extremidades inferiores, al cuello y los hombros, a la caja torácica y al abdomen.

El dolor en la región dorsal de la espalda se denomina *dorsalgia* y su origen puede ser multifactorial: vertebral, muscular, neurológico, discal, articular o cápsuloligamentoso. Como ya se ha dicho, el dolor dorsal aparece con mucha menos frecuencia que las lumbalgias y cervicalgias. Cuando la dorsalgia se presenta causando un dolor realmente intenso es conveniente acudir urgentemente al reumatólogo-traumatólogo, debido a que puede estar originado por una fractura o aplastamiento vertebrales, sobre todo puede ocurrir en personas mayores por la mayor incidencia de osteoporosis en este colectivo. En tal caso deberá adoptarse una estrategia terapéutica inmediata. Entre las posibles causas encontramos:

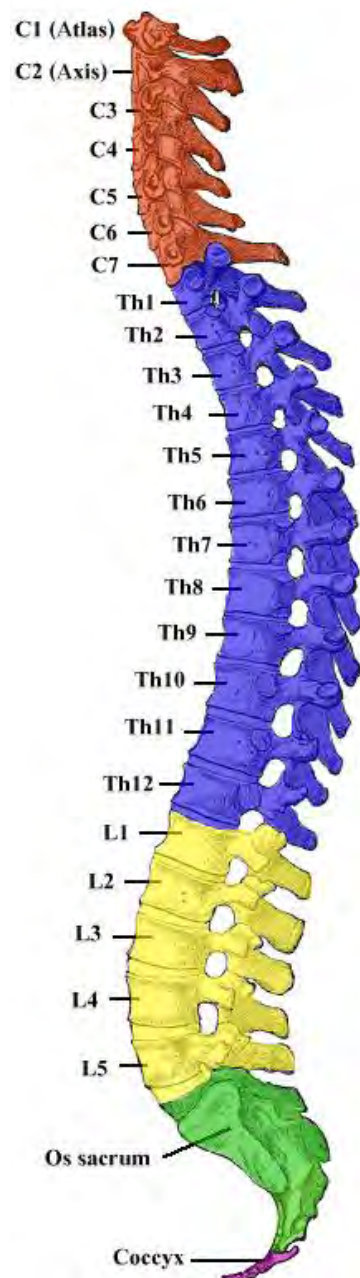
- Posturas inadecuadas en las que las vértebras dorsales se mantienen flexionadas o inclinadas y que suelen adoptarse con relativa frecuencia en el día a día.
- Inadecuada utilización de la columna al realizar movimientos bruscos, levantar pesos o transportarlos, como puede ocurrir cuando se lleva una carga y se deja caer el tronco hacia delante o cuando la columna se inclina al transportar una carga con una sola mano.

La hipercifosis dorsal se define como la acentuación de la curvatura de la región dorsal de la columna vertebral. Externamente, se aprecia un arqueamiento pronunciado de la zona media/alta de la espalda, y se puede llegar al extremo de desarrollar lo que popularmente se conoce como joroba. El grado de curvatura dorsal normal oscila entre los 20° y los 50°. Aunque existen discrepancias entre científicos, si la curvatura supera los 50° se considera hipercifosis. Las posturas incorrectas mantenidas en el tiempo y reproducidas habitualmente suelen integrarse como patrones posturales y alterar la disposición de las vértebras dorsales en hipercifosis, sobre todo en determinados ámbitos profesionales como costureras, oficinistas...

## 5.9. REGIÓN DE LA COLUMNA CERVICAL

### 5.9.1. ANATOMÍA

La parte musculoesquelética de la región de la columna cervical o del cuello está formada por siete cuerpos vertebrales, seis discos intervertebrales formados por cartílago, ligamentos que los mantienen unidos y los conectan al cráneo y a la columna dorsal, y músculos que rodean a la columna. Aunque cada articulación de la columna cervical posee una amplitud de movimiento muy limitada, el cuello se puede doblar, extender, girar y bascular con una amplitud de movimiento relativamente grande.

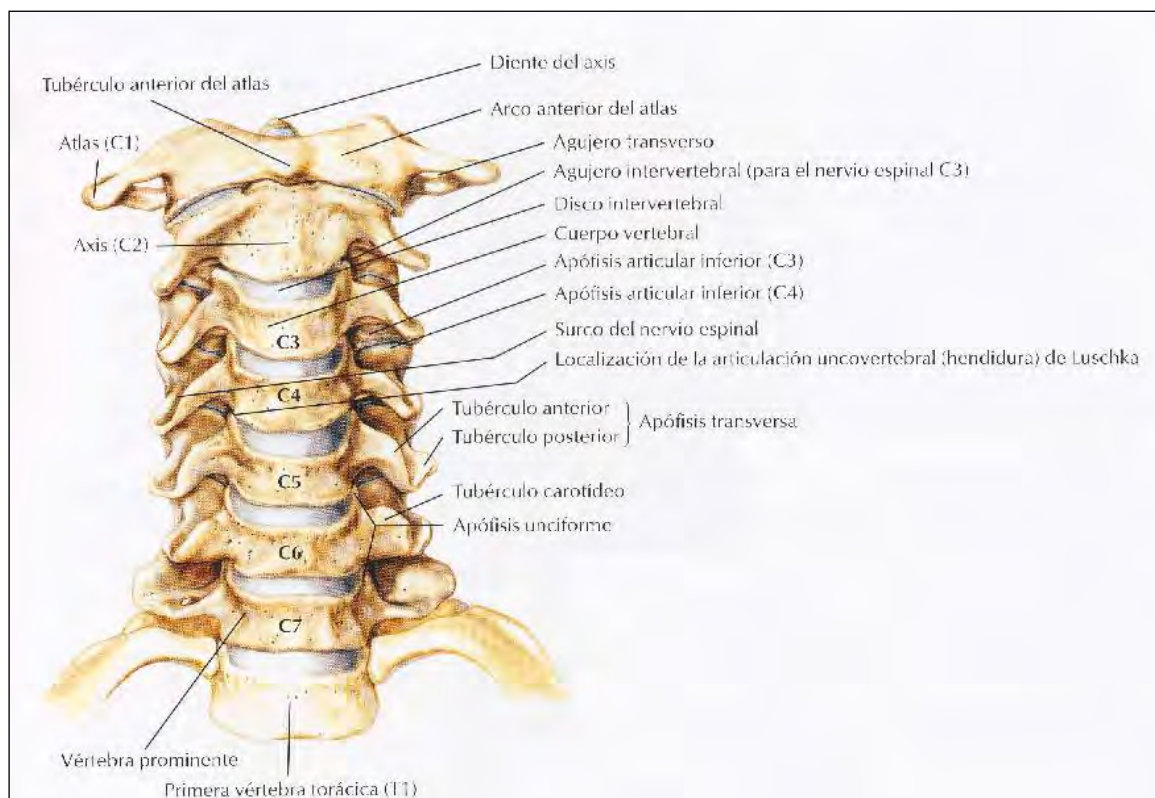


La región cervical de la columna vertebral corresponde a la zona roja, vértebras de la C1 a C7.

En posición erecta normal y con la mirada dirigida hacia adelante, el centro de gravedad de cabeza y cuello está realmente situado por delante del centro de apoyo, por lo que necesita ser equilibrado por los músculos dorsales, es decir, por los situados detrás de los cuerpos vertebrales. Cuando se inclina la cabeza hacia adelante se necesita más fuerza muscular para equilibrar la cabeza, y cuando esta inclinación hacia adelante se mantiene durante períodos prolongados puede aparecer una fatiga muscular notable. Además de la fatiga muscular, la inclinación y la basculación de la cabeza dan lugar a una mayor compresión de los discos intervertebrales, lo que puede acelerar los procesos degenerativos.

Los músculos que rodean el cuello actúan también en el trabajo de los brazos, a fin de estabilizar el complejo hombro/brazo. El trapecio y otros varios músculos se originan en la columna cervical y se extienden hacia abajo y hacia afuera para insertarse en el hombro. Estos músculos suelen ser asiento de disfunciones y de trastornos, sobre todo en las tareas estáticas o repetitivas con los brazos elevados y la visión fija.

Las estructuras que estabilizan el cuello son muy robustas, lo que sirve para proteger el tejido nervioso situado dentro del canal vertebral y los nervios que salen de los agujeros intervertebrales para inervar el cuello, la extremidad superior y la parte superior del tórax. Los discos intervertebrales, las partes adyacentes de los cuerpos vertebrales y las facetas articulares de los agujeros intervertebrales son a menudo asiento de cambios degenerativos, que pueden ejercer presión sobre los nervios y estrechar su espacio.



Vértebras cervicales: visión anterior.



### 5.9.2. FISIOLOGÍA

Las funciones de la región cervical de la columna vertebral son similares a las de las regiones lumbar y dorsal, aunque además, el cuello es el encargado de sostener el cráneo.

### 5.9.3. FACTORES DE RIESGO

El dolor y las molestias en el cuello son algunos de los síntomas más comunes asociados al trabajo. Aparecen tanto en el trabajo manual duro como en el trabajo sedentario, y los síntomas a menudo persisten durante períodos prolongados, de hecho, en algunos casos durante toda la vida. De ello se deduce que los trastornos del cuello son difíciles de curar una vez que han aparecido, por lo que se debe prestar la máxima atención a la prevención primaria. Tres son las principales razones por las que los trastornos del cuello son frecuentes en la vida laboral:

- La carga sobre las estructuras del cuello se mantiene durante períodos prolongados debido a las elevadas demandas visuales del trabajo y a la necesidad de estabilización de la región del cuello y los hombros cuando se trabaja con los brazos.
- Los trabajos psicológicamente exigentes, con grandes demandas en cuanto a concentración y a calidad y cantidad de trabajo son frecuentes, y producen una mayor actividad de los músculos del cuello. Esta tensión aumenta más si el trabajo es en general psicológicamente estresante, debido, por ejemplo, a malas relaciones laborales, a la escasa influencia sobre la organización del trabajo y a motivos similares.
- Los discos y las articulaciones del cuello son a menudo asiento de cambios degenerativos, cuya prevalencia aumenta con la edad. Ello reduce la capacidad de soportar las sobrecargas de trabajo. También es probable que la velocidad de degeneración aumente como consecuencia de las demandas físicas del trabajo.

Los trastornos cervicales tienen una prevalencia considerablemente mayor en ciertos grupos profesionales. Utilizando el cuestionario nórdico (Kuorinka y cols. 1987), los servicios suecos de salud en el trabajo han recopilado datos de varias profesiones. Los resultados indican que el riesgo de problemas cervicales como dolor, molestias o incomodidad es muy alto en los trabajadores con monitores de representación visual y de máquinas de coser, costureras y trabajadores en montajes electrónicos, con una prevalencia en 12 meses superior al 60%. Además, más de una tercera parte de las personas que manifiestan trastornos afirman también que los problemas repercuten en su vida laboral, ya sea provocando bajas laborales o haciendo necesario un cambio de trabajo o de las tareas a realizar en el mismo.

Se han revisado los estudios epidemiológicos sobre los trastornos de cuello y hombros, y



se han agrupado los diferentes estudios según el tipo de exposición: trabajo repetitivo y trabajo por encima de la altura de los hombros. Los trastornos de los tejidos blandos del cuello, como tensión cervical y otras mialgias, estaban considerablemente aumentados en varias tareas profesionales como introducción de datos, mecanografía, fabricación de tijeras, montaje de lámparas y enrollado de películas. Los trastornos degenerativos de los discos intervertebrales del cuello son más frecuentes en los mineros del carbón, dentistas y trabajadores de la industria cárnica (Hagberg y Wegman 1987).

La flexión, extensión, curvatura lateral y torsión prolongadas del cuello producen fatiga muscular y pueden dar lugar a lesiones musculares crónicas y cambios degenerativos de la columna cervical. La actividad muscular necesaria para contrarrestar el peso de la cabeza en la flexión hacia adelante del cuello aumentan con el ángulo de flexión. La fatiga y el dolor son frecuentes en la flexión del cuello cuando se realiza un trabajo prolongado. Cuando se bascula la cabeza hacia adelante hasta el límite de su amplitud de movimiento, la carga principal se transfiere desde los músculos hasta los ligamentos y las cápsulas articulares que rodean a la columna cervical. Se ha calculado que si se flexiona al máximo toda la columna cervical, el par de torsión ejercido por la cabeza y el cuello sobre el disco situado entre el séptimo cuerpo vertebral cervical y el primero dorsal se multiplica por un factor de 3,6. Tales posturas ocasionan dolor transcurridos sólo unos 15 minutos, y por lo general es preciso normalizar la postura de 15 a 60 minutos debido al intenso dolor. Posturas en las que se mantiene el cuello curvado hacia adelante durante períodos prolongados de varias horas son frecuentes en los trabajos de montaje de la industria, en el trabajo con monitores y en las tareas de empaquetado e inspección cuando los lugares de trabajo están mal diseñados. Tales posturas a menudo están causadas por un compromiso entre la necesidad de realizar el trabajo con las manos, sin elevar los brazos, y la necesidad simultánea de control visual.

La extensión del cuello durante períodos prolongados, como es el trabajo realizado sobre la cabeza en la construcción, puede ser muy agotadora para los músculos situados delante de la columna cervical. Sobre todo cuando se llevan equipos protectores pesados, como los cascos de seguridad, el nivel de torsión que inclina la cabeza hacia atrás puede ser alto.

Los movimientos repetitivos de las manos aumentan las demandas para la estabilización de la región del cuello y hombros, aumentando así el riesgo de problemas cervicales. Factores como las altas demandas de velocidad y precisión de movimientos, así como las grandes demandas de fuerza ejercida por las manos, implican demandas aún mayores de estabilización de las regiones proximales del cuerpo. Los movimientos repetitivos de la cabeza son menos frecuentes. Los cambios rápidos y repetidos de objetivo visual suelen realizarse mediante movimientos oculares, a menos que la distancia entre los objetos observados sea bastante grande. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en los puestos de

trabajo informáticos.

La vibración local de las manos, como ocurre al trabajar con taladros y otras máquinas vibratorias sujetadas con las manos, se transmite a lo largo del brazo, pero la fracción transferida hasta la región del cuello y hombros es mínima. Sin embargo, el hecho de sostener una herramienta vibratoria puede producir contracciones musculares en los músculos proximales del cuello y hombros para estabilizar la mano y la herramienta, lo que puede ejercer un efecto fatigoso sobre el cuello. Los mecanismos y la prevalencia de tales trastornos producidos por la vibración no son bien conocidos.

La duración de los períodos de trabajo y de descanso tiene un profundo efecto sobre la fatiga y la recuperación tisular. Se han realizado pocos estudios específicos acerca del efecto de la organización del trabajo sobre los trastornos del cuello. En un gran estudio epidemiológico realizado en Suecia, se observó que el trabajo con monitores durante más de cuatro horas al día, se asociaba a unos altos índices de síntomas cervicales (Aronsson, Bergkvist y Almers 1992). Estos hallazgos han sido confirmados posteriormente en otros estudios.

La asociación entre los factores psicológicos y sociales en el trabajo y los trastornos de la región del cuello se han demostrado en varios estudios. Se han destacado especialmente factores como el estrés psicológico percibido, el mal control de la organización del trabajo, las malas relaciones con los superiores y los compañeros y de trabajo y las altas demandas de exactitud y rapidez en el trabajo. Estos factores se han asociado a un aumento del riesgo, hasta el doble, de trastornos en estudios transversales. El mecanismo probablemente sea un aumento de la tensión en el trapecio y otros músculos que rodean el cuello, como parte de una reacción general de estrés. Dado que los estudios longitudinales bien controlados son escasos, todavía no está claro si estos factores son causales o agravantes. Además, a menudo se dan malas condiciones psicológicas y sociales en trabajos también caracterizados por posturas incómodas prolongadas.

Características individuales como la edad, sexo, fuerza y resistencia muscular, la capacidad física para el trabajo, tamaño corporal, personalidad, inteligencia, hábitos en el tiempo libre (actividad física, consumo de tabaco, alcohol, dieta) y trastornos musculoesqueléticos anteriores deben ser tenidos en cuenta como factores que podrían modificar la respuesta a las exposiciones físicas y psicosociales.

Las mujeres suelen presentar una mayor prevalencia de síntomas en el cuello que los varones. La explicación más probable es que la exposición a los factores de riesgo físicos y psicosociales es mayor en el sexo femenino, como ocurre en los trabajos con monitores, el montaje de pequeños componentes y la costura a máquina.

El puesto de trabajo se debe organizar de modo que la cabeza no esté estáticamente curvada, extendida o girada más allá de los límites dados para la amplitud de movimiento permisible que se presentan para la conducción prolongada.

	NORMAL <sup>3</sup>	PERMISIBLE PARA CONDUCCIÓN PROLONGADA <sup>4</sup>
FLEXIÓN LATERAL	45	-
GIRO	60	0 – 15
FLEXIÓN	45	0 – 25
EXTENSIÓN	-45	0 – -5

TABLA Amplitud de movimiento normal<sup>1</sup> y permisible<sup>2</sup> para conducción prolongada, en grados, de la cabeza.

De vez en cuando, son aceptables los movimientos que estén dentro de los límites de la amplitud del movimiento normal, así como el movimiento ocasional hasta los extremos individuales. Estudios experimentales han demostrado que la carga de los músculos del cuello es menor cuando el tronco está ligeramente basculado hacia atrás que con una postura totalmente recta, que a su vez es mejor que el tronco basculado hacia adelante (Schüldt 1988).

La disposición del puesto de trabajo y la colocación del objeto de trabajo requieren un estudio cuidadoso y un acuerdo entre las demandas de una postura óptima de la cabeza y de los hombros-brazos. Por lo general, el objeto se sitúa algo por debajo de la altura del codo, lo que no obstante puede producir una fuerte tensión sobre los músculos del cuello. Esto requiere puestos de trabajo ajustables individualmente.

El esfuerzo visual aumentará la tensión de los músculos del cuello, por lo que se deberá prestar atención a la iluminación y a los contrastes del puesto de trabajo y a la legibilidad de la información dada en los monitores y en el material impreso. Para el trabajo en monitores de representación visual, la distancia de visión debe ser optimizada a unos 45-50 cm., y el ángulo de visión debe ser de 10 a 20 grados.

<sup>3</sup> American Academy of Orthopaedic Surgeons 1988.

<sup>4</sup> Hansson 1987.

#### 5.9.4. PATOLOGÍA

##### Tensión cervical

Trastorno doloroso de los tejidos blandos. La localización más frecuente de la tensión cervical y otras mialgias es la parte superior del músculo trapecio, aunque a menudo se afectan simultáneamente otros músculos originados en el cuello. Los síntomas son rigidez del cuello y molestias en el trabajo y en reposo. Con frecuencia se percibe una fatiga muscular excesiva, incluso durante períodos de trabajo de corta duración y bajo nivel. Los músculos están hipersensibles, y a menudo se encuentran puntos dolorosos a la palpación. La tensión cervical es habitual en los trabajos con cargas estáticas prolongadas sobre el cuello y los hombros. El examen microscópico del tejido ha demostrado cambios en la morfología del músculo, pero los mecanismos no se conocen por completo y probablemente impliquen tanto a la circulación sanguínea como a la regulación nerviosa.

##### Cervicalgia

Dolor localizado en la parte posterior y lateral del cuello, habitualmente originado por la existencia de una patología o una irritación articular, ósea, muscular, discal, neurológica o la combinación de éstas entre sí. La cervicalgia, la dorsalgia y la lumbalgia no son enfermedades propiamente dichas, sino únicamente el síntoma o la manifestación dolorosa de una afección determinada. La cervicalgia está muy relacionada con el tipo de trabajo que se realiza y las posturas que se adoptan. Es frecuente en oficios en los que la cabeza permanece desplazada hacia delante durante muchas horas. Unos ejemplos típicos de estas profesiones son oficinistas, costureras, dibujantes, cirujanos... Al esfuerzo que les supone a los músculos correspondientes la sujeción de la cabeza hay que añadirle el que se deriva del mantenimiento en suspensión de los brazos cuando estos están alzados. Así pues, si no se apoyan los codos al sentarse delante de la mesa de trabajo, los músculos pueden generar dolor por sobrecarga o contractura.

##### Tortícolis aguda

Trastorno doloroso de los tejidos blandos. Este estado de dolor agudo y rigidez del cuello puede ser provocado por un giro brusco de la cabeza con extensión del brazo opuesto. En ocasiones no es posible identificar un acontecimiento desencadenante. Se cree que la tortícolis aguda está causada por distensión y roturas parciales de los ligamentos del cuello. Por lo general, el dolor y la rigidez remiten después de una semana de reposo, soporte externo del cuello (collarín) y administración de relajantes musculares.

##### Hernia de disco

Trastorno degenerativo agudo. La degeneración de la columna cervical afecta a los discos, que pierden parte de su resistencia incluso a tensiones débiles. La herniación del disco con

extrusión de su contenido, o la protrusión del mismo, puede comprometer al tejido nervioso y a los vasos sanguíneos laterales y posteriores al disco. Un trastorno degenerativo agudo del disco es la compresión de las raíces nerviosas que se extienden desde la médula espinal e inervan el cuello, los brazos y la porción superior del tórax. Dependiendo de la altura de la compresión, disco entre la segunda y la tercera vértebras cervicales, entre la tercera y la cuarta... aparecen síntomas sensitivos y motores agudos de las regiones inervadas por los nervios. La investigación de los síntomas agudos de cuello y brazos incluye una exploración neurológica completa para identificar la altura del posible prolapso del disco y una exploración radiológica simple.

### Espondilosis cervical y síndrome cervical

Son dos trastornos degenerativos crónicos. La degeneración de la columna cervical implica el estrechamiento del disco, la formación de hueso nuevo, los denominados osteofitos, a partir de los bordes de las vértebras cervicales y el engrosamiento de los ligamentos como en un trastorno agudo. Cuando los osteofitos se extienden a los agujeros intervertebrales, pueden comprimir las raíces nerviosas. Espondilosis es el término utilizado para describir los cambios radiológicos en el cuello, cambios que en ocasiones se asocian a síntomas locales crónicos. Los cambios radiológicos pueden ser avanzados, sin síntomas graves, y a la inversa. Los síntomas suelen consistir en molestias y dolor en el cuello, que en ocasiones se extienden a la cabeza y a la región de los hombros, y movilidad reducida. Cuando están comprimidas las raíces nerviosas se utiliza el diagnóstico de síndrome cervical. Sus síntomas son molestias y dolor en el cuello, disminución de la movilidad del cuello y síntomas sensitivos y motores en el lado de la raíz nerviosa comprimida. Síntomas como la reducción de la sensibilidad táctil, hormigueo, entumecimiento y disminución de la fuerza son frecuentes en la mano y el brazo. Por tanto, los síntomas son similares a los que aparecen en caso de prolapso agudo del disco, aunque el comienzo suele ser más gradual y la intensidad puede fluctuar dependiendo de la carga de trabajo externa. Tanto la espondilosis cervical como el síndrome cervical son frecuentes en la población general, sobre todo en las personas de edad avanzada. El riesgo de espondilosis cervical es elevado en grupos profesionales que soportan una carga biomecánica alta en las estructuras del cuello, como los mineros del carbón, los dentistas y los trabajadores de las industrias cárnicas.

### Hiperlordosis cervical

Aumento de la curvatura lordótica instaurada en el esquema corporal de la persona. Dicho aumento puede observarse externamente, en bipedestación relajada, y medirse objetivamente a través de radiografías. Una curvatura superior a 25° de angulación se considera hiperlordótica. La mayor parte de las hiperlordosis cervicales se instauran como consecuencia de actitudes posturales incorrectas. Las posiciones que suelen utilizarse para

sentarse, en las que se mantiene la región dorsal en flexión, condicionan directamente la posición de las vértebras cervicales, ya que para orientar la vista hacia adelante, se aumenta espontáneamente la curvatura cervical.

### Síndrome del latigazo

Otro tipo de dolencias en la región cervical viene dada por trastornos traumáticos, las llamadas lesiones por latigazo. En los accidentes de automóvil por alcance, la cabeza, si no dispone de un apoyo posterior, es basculada hacia atrás a gran velocidad y con gran fuerza. En los accidentes menos graves sólo se producen roturas musculares parciales, mientras que los accidentes graves pueden lesionar seriamente los músculos y ligamentos situados por delante de la columna cervical y dañar asimismo las raíces nerviosas. Los casos más graves se producen cuando se luxan las vértebras cervicales. Las lesiones por latigazo precisan una exploración y un tratamiento cuidadosos, ya que si la lesión no se atiende adecuadamente pueden persistir síntomas duraderos, como cefaleas.

## 5.10. HOMBRO

### 5.10.1. ANATOMÍA

El hombro es la parte donde se une el brazo con el torso. Está formado por tres huesos: la clavícula, la escápula y el húmero; así como por músculos, ligamentos y tendones. Posee cinco articulaciones: tres verdaderas y dos falsas o fisiológicas.



Anatomía del hombro, según los estudios de Leonardo da Vinci.

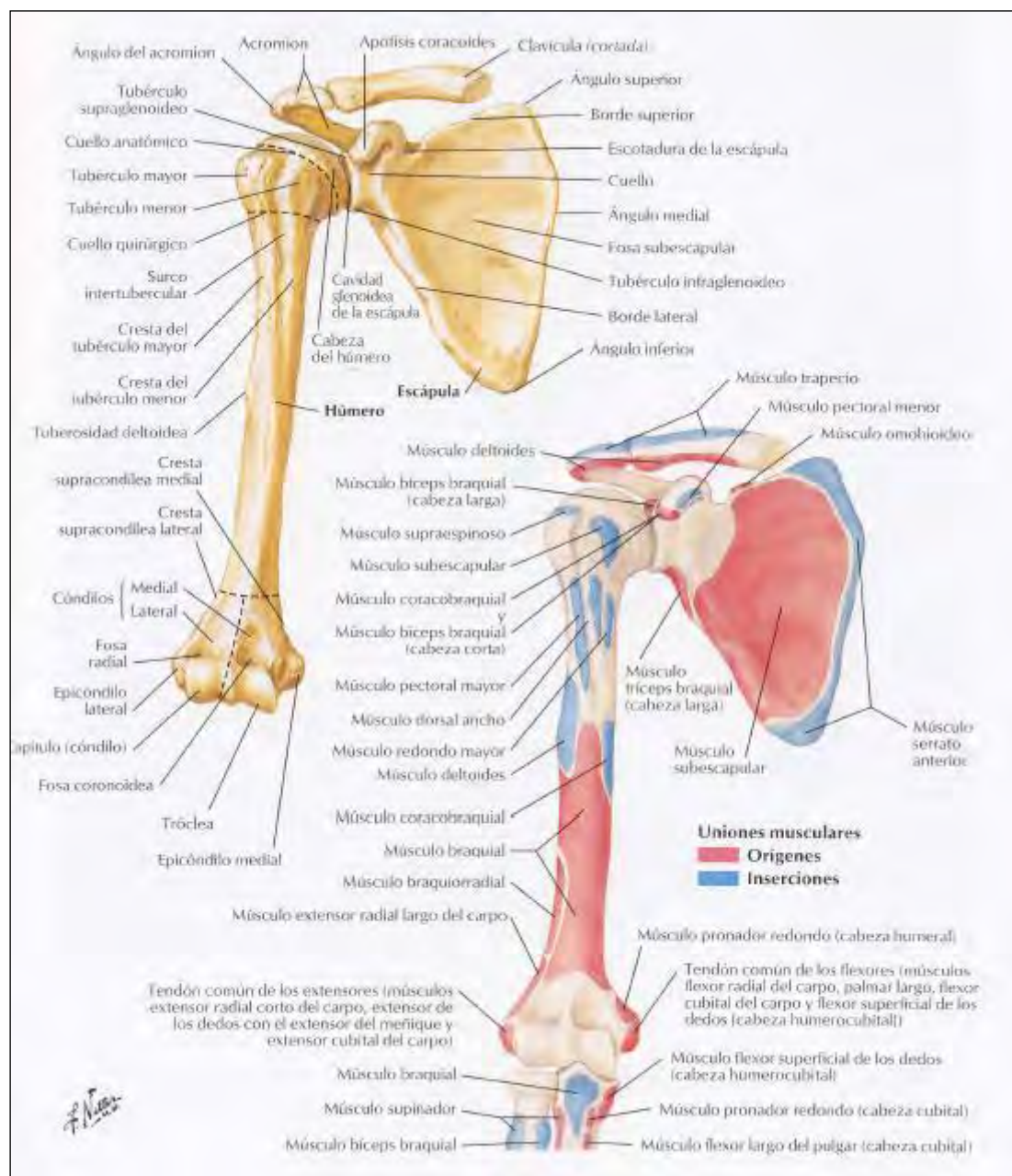
Las verdaderas articulaciones propiamente del hombro son la escapulohumeral, acromioclavicular y la esternocostoclavicular. Las articulaciones fisiológicas son la articulación escapulotorácica y la articulación subdeltoidea. Dos de estas articulaciones posibilitan el movimiento del hombro. La articulación acromioclavicular, está situada entre el acromion (parte de la escápula que forma el punto más alto del hombro) y la clavícula. La articulación escapulohumeral, normalmente llamada articulación del hombro tiene forma de cabeza y casquete para permitir al hombro la rotación y el movimiento en todas direcciones separándolo del cuerpo. El movimiento del brazo es además facilitado por la capacidad de la escápula para deslizarse tanto vertical como lateralmente a lo largo de la caja torácica. La cápsula es una envoltura de tejido blando que circunda la articulación escapulohumeral y está revestida por una delgada y fina membrana sinovial. Estos huesos se mantienen en su sitio debido a la intervención de músculos, tendones y ligamentos. Los tendones son fuertes cordones de tejido que unen los músculos del hombro al hueso y ayudan en su movilidad. Los ligamentos unen un hueso con otro, proporcionando estabilidad. El manguito rotador es una estructura de tendones que, asociada a los músculos, mantiene la cabeza del húmero dentro de la cavidad glenoidal, proporcionando movilidad, estabilidad y fuerza a la articulación. Dos estructuras transparentes en forma de



saco llamadas bolsas, permiten el deslizamiento suave de huesos, músculos y tendones, al mismo tiempo que amortiguan y protegen el manguito rotador del arco óseo del acromio.

Los músculos ayudan a sostener el hombro y permiten la rotación del hombro en muchas direcciones. Los más importantes para el funcionamiento del hombro son:

- El músculo supraespinoso, que permite elevar el hombro.
- El músculo subescapular, que permite girar el hombro internamente.
- El músculo infraespinoso, que permite la rotación externa.
- El músculo redondo menor, que permite la rotación externa.
- El músculo redondo mayor, permite la rotación interna.



Huesos y uniones musculares del hombro. Netter, Atlas de Anatomía Humana.

### 5.10.2. FISIOLOGÍA

La flexibilidad y fortaleza del hombro nos permite hacer toda clase de funciones. Cada músculo del hombro ayuda a sostenerlo y permite su rotación en muchas direcciones, permitiendo de esta manera el desplazamiento del brazo.

### 5.10.3. FACTORES DE RIESGO

La degeneración tendinosa es a menudo el factor predisponerte para el desarrollo de la tendinitis de hombro. Tal degeneración del tendón puede estar causada por una alteración de la circulación del tendón, que interrumpe el metabolismo. También el estrés mecánico puede ser una causa. La muerte de las células dentro del tendón, que produce restos en los que se puede depositar calcio, quizá sea la forma inicial de degeneración. Los tendones del supraespinoso, el bíceps braquial y las porciones superiores del infraespinoso poseen una zona en la que no existen vasos sanguíneos, y es en esta zona en la que se localizan predominantemente los signos de degeneración, incluida la muerte de células, los depósitos de calcio y las roturas microscópicas. Cuando se altera la circulación sanguínea, como ocurre con la compresión y la carga estática de los tendones del hombro, la degeneración puede acelerarse, ya que el mantenimiento normal del organismo no funcionará de forma óptima.

Cuando se eleva el brazo se produce compresión de los tendones. Un proceso, a menudo denominado impactación, consiste en el paso forzado de los tendones a través de los conductos óseos del hombro. Se produce la compresión de los tendones del manguito de los rotadores (en especial del tendón del supraespinoso) porque el espacio entre la cabeza humeral y el ajustado arco coracoacromial es estrecho. Las personas que padecen discapacidad prolongada debida a bursitis crónica o a desgarros completos o parciales de los tendones del manguito de los rotadores o del bíceps braquial suelen presentar también síndrome de impactación.

La circulación de la sangre hasta el tendón también depende de la tensión muscular. En el tendón, la circulación será inversamente proporcional a la tensión. Con tensiones muy altas, la circulación puede cesar por completo. Estudios recientes han demostrado que la presión intramuscular en el músculo supraespinoso puede superar los 30 mm. Hg a 30 grados de flexión hacia adelante o de abducción de la articulación del hombro. A esta presión se produce alteración de la circulación sanguínea. Dado que el principal vaso sanguíneo que irriga el tendón del supraespinoso discurre a través del músculo supraespinoso, es probable que la circulación hasta el tendón se altere incluso a 30 grados de flexión hacia adelante o de abducción de la articulación del hombro. Debido a estos efectos biomecánicos, no es sorprendente encontrar un riesgo alto de lesiones de los tendones del hombro en las personas que realizan actividades que requieren contracciones

estáticas del músculo supraespinoso o flexiones hacia adelante o abducciones repetitivas del hombro. Los soldadores, laminadores de metal y costureras se encuentran entre los grupos profesionales cuyo trabajo lleva aparejada tensión estática de estos músculos. Los trabajadores de la línea de montaje en la industria automovilística, los pintores, los carpinteros y deportistas como los nadadores son otros grupos profesionales que realizan movimientos repetitivos de la articulación del hombro.

En el tendón degenerado, el esfuerzo puede desencadenar una respuesta inflamatoria a los restos de las células muertas, que ocasiona una tendinitis activa. También las infecciones o la inflamación sistémica pueden predisponer a una persona a padecer una tendinitis reactiva en el hombro. Una hipótesis es que la infección, que activa el sistema inmunitario, aumenta la posibilidad de una respuesta de cuerpo extraño a las estructuras degenerativas del tendón.

Si se considera que la tendinitis es debida a una elevada carga local sobre el hombro, será necesario un cambio en el diseño del puesto de trabajo o de la tarea a desempeñar. El antecedente de tendinitis del hombro hace que un trabajador que realiza un trabajo repetitivo o encima de la cabeza sea propenso a una recaída. Debe reducirse al mínimo la carga sobre la articulación artrósica mediante la optimización ergonómica del trabajo.

La prevención de los trastornos musculoesqueléticos del hombro relacionados con el trabajo se puede lograr mejorando las posturas del trabajo, los movimientos, el manejo del material y la organización del trabajo, y eliminando los factores externos peligrosos, como las vibraciones en mano-brazo o en todo el cuerpo:

- Posturas en el trabajo: Dado que la compresión de los tendones del hombro se produce a los 30 grados de elevación del hombro, se diseñará el trabajo de modo que se procure mantener la parte superior del brazo próxima al tronco.
- Movimientos: Las elevaciones repetitivas del brazo pueden desencadenar una tendinitis del hombro, por lo que se deberá diseñar el trabajo de forma que se eviten los movimientos muy repetitivos del brazo.
- Manejo del material: El manejo de herramientas y objetos puede provocar cargas intensas sobre los tendones y músculos del hombro. Las herramientas y objetos sujetos por la mano tendrán el menor peso posible y se utilizarán con soportes para ayudar a levantarlas.
- Organización del trabajo: La organización del trabajo se diseñará de forma que permita pausas y descansos. Las vacaciones, las rotaciones y la ampliación del trabajo son todas ellas técnicas que pueden evitar la carga repetitiva de músculos o estructuras aislados.
- Factores externos: La vibración y otros impactos de las herramientas eléctricas pueden ocasionar distensiones tanto de los tendones como de las estructuras

articulares, aumentando el riesgo de artrosis. Se reducirán al mínimo los niveles de vibración de las herramientas eléctricas y se evitarán la vibración y otros tipos de exposición a impactos utilizando diferentes tipos de soporte o palancas. Las vibraciones de todo el cuerpo pueden causar contracciones reflejas de los músculos del hombro y aumentar la carga sobre él.

- Ergonomía participativa: Este método implica a los propios trabajadores en la definición de los problemas y sus soluciones, y en la evaluación de éstas. La ergonomía participativa comienza a partir de una visión macroergonómica, que implica el análisis de todo el sistema de producción. Los resultados de este análisis podrían dar lugar a cambios a gran escala en los métodos de producción, cambios que podrían aumentar tanto la salud y la seguridad como el beneficio y la productividad. El análisis podría llevar también a cambios en menor escala, como el diseño de los puestos de trabajo.
- Exámenes precolocación: La información disponible actualmente no apoya la idea de que la selección de precolocación sea eficaz para reducir la aparición de trastornos del hombro relacionados con el trabajo.
- Control y vigilancia médicos: La vigilancia de los síntomas del hombro se realiza fácilmente mediante cuestionarios normalizados y visitas de inspección de los centros de trabajo.

#### 5.10.4. PATOLOGÍA

La mayoría de las lesiones de hombro se tratan conservadoramente con reposo y fisioterapia. Sin embargo, hay otras alteraciones en esta articulación que requieren de intervención quirúrgica. Entre las lesiones comunes del hombro nos encontramos cervicobraquialgias, capsulitis adhesiva, tendinosis del bíceps, bursitis subacromial, **desgarro del tendón del bíceps, ruptura del manguito rotador...**

El hombro tiene bastante tendencia a sufrir dislocaciones, saliéndose de su lugar. Normalmente se producen por golpes duros en él, y se debe poner el hueso en su sitio lo antes posible para que no se enfríe y así dificulte la operación. Menos frecuente, pero dolorosos, son los desgarros en los músculos. La inmovilización del hombro lesionado es difícil, pues de momento no hay ningún molde de escayola adecuado para sujetarlo, así que se suelen usar vendajes, que aparte de causar presión pudiendo impedir el paso de la sangre, no aseguran que el hombro esté protegido ni inmovilizado.

Los trastornos de la región del hombro son problemas frecuentes tanto en la población general como en la laboral. Hasta un tercio de las mujeres y una cuarta parte de los varones se quejan de sensación de dolor en cuello y hombros a diario o cada dos días. Se calcula que la prevalencia de tendinitis de hombro en la población general es de alrededor del 2%. En los trabajadores de ambos sexos de Estados Unidos, la prevalencia de

tendinitis del hombro se ha calculado hasta en un 8% en los expuestos a movimientos muy repetitivos o de gran fuerza con las manos, en comparación con el 1% aproximadamente en los no sometidos a este tipo de estrés musculoesquelético.

Las tendinitis y tenosinovitis son inflamaciones de un tendón y de la membrana sinovial de una vaina tendinosa. Los tendones de los músculos del manguito de los rotadores (supraespinoso, infraespinoso, subescapular y redondo menor), junto con la cabeza larga del bíceps braquial, son localizaciones habituales de inflamación en el hombro. En estas localizaciones están implicados grandes movimientos de los tendones. Durante la elevación, dado que los tendones pasan a la articulación del hombro y bajo la estructura ósea (el arco coracoacromial), pueden resultar comprimidos, con la consiguiente inflamación. Estos trastornos reciben en ocasiones el nombre de síndromes de impactación. La inflamación de un tendón puede ser parte de una enfermedad inflamatoria generalizada, como ocurre en la artritis reumatoide, pero también estar causada por inflamación local a consecuencia de irritación y fricción mecánicas.

Las osteoartritis de la articulación del hombro y de la articulación acromioclavicular son cambios degenerativos del cartílago y del hueso en las articulaciones y los discos intervertebrales.

Existe una alta prevalencia de tendinitis del hombro entre los soldadores y los laminadores de acero, con tasas del 18 y del 16%, respectivamente. En un estudio comparativo entre soldadores y laminadores de acero, por un lado, y oficinistas varones por otro, los primeros tenían de 11 a 13 veces más de posibilidades de padecer el trastorno, según los índices obtenidos. Se encontró una relación similar, de 11, en un estudio sobre trabajadores varones de la industria que trabajaban con las manos elevadas aproximadamente a la altura del hombro. Los montadores de automóviles que padecían dolor agudo y tendinitis del hombro se veían obligados a elevar los brazos más a menudo y durante más tiempo que los no sometidos a tales exigencias laborales.

Estudios realizados en trabajadores industriales en Estados Unidos han demostrado una prevalencia del 7,8 % de tendinitis del hombro y enfermedad articular degenerativa del hombro a causa de trastornos traumáticos acumulados, en los trabajadores cuyas tareas implicaban el empleo de fuerza, movimientos repetitivos o ambos, sobre la muñeca y las manos. En un estudio, estudiantes del sexo femenino que realizaban movimientos repetitivos del hombro desarrollaron una tendinitis reversible con un ritmo de flexión durante una hora de 15 flexiones hacia adelante por minuto y un ángulo de flexión entre 0 y 90 grados. Entabladores, plegadores y costureras sufrían el doble de tendinitis del hombro que las personas que tricotaban. Entre los lanzadores profesionales de beisbol, alrededor de un 10 % han experimentado tendinitis del hombro. Una investigación en nadadores de clubes canadienses encontró que el 15 % informaban de una discapacidad



significativa del hombro, debida fundamentalmente a impactación. El problema se relacionaba en particular con los estilos mariposa y libre. Se encontró tendinitis del bíceps braquial en el 11% de los 84 mejores tenistas del mundo.

Otro estudio demostró que la osteoartritis de la articulación del hombro era más frecuente en los dentistas que en los agricultores, aunque no se ha identificado la exposición ergonómica relacionada con la osteoartritis de la articulación del hombro. Se ha observado un mayor riesgo de osteoartritis acromioclavicular en los trabajadores de la construcción. Se ha sugerido que el levantamiento de grandes pesos y el manejo de herramientas pesadas con vibración de mano-brazo podrían ser las exposiciones relacionadas con la osteoartritis de la articulación acromioclavicular.

## 5.11. CODO

### 5.11.1. ANATOMÍA

El codo es la articulación que une el brazo y el antebrazo, conectando la parte distal del húmero con los extremos proximales del cúbito y del radio. Está formado por dos articulaciones con ligamentos laterales, anteriores y posteriores, que las estabilizan y refuerzan, y se encuentran recubiertas por una cápsula articular común. El codo está comprendido entre la región braquial y una línea horizontal que pasa a 5 cm. por debajo del pliegue el codo.

Aunque morfológicamente, el codo, es una articulación única, realmente las superficies articulares reflejan tres articulaciones en una: la húmero-cubital que permite las flexoextensiones, la radio-cubital proximal que permite rotaciones en los movimientos de pronación y supinación del brazo y por último la húmero-radial, que colabora en los movimientos antes descritos.

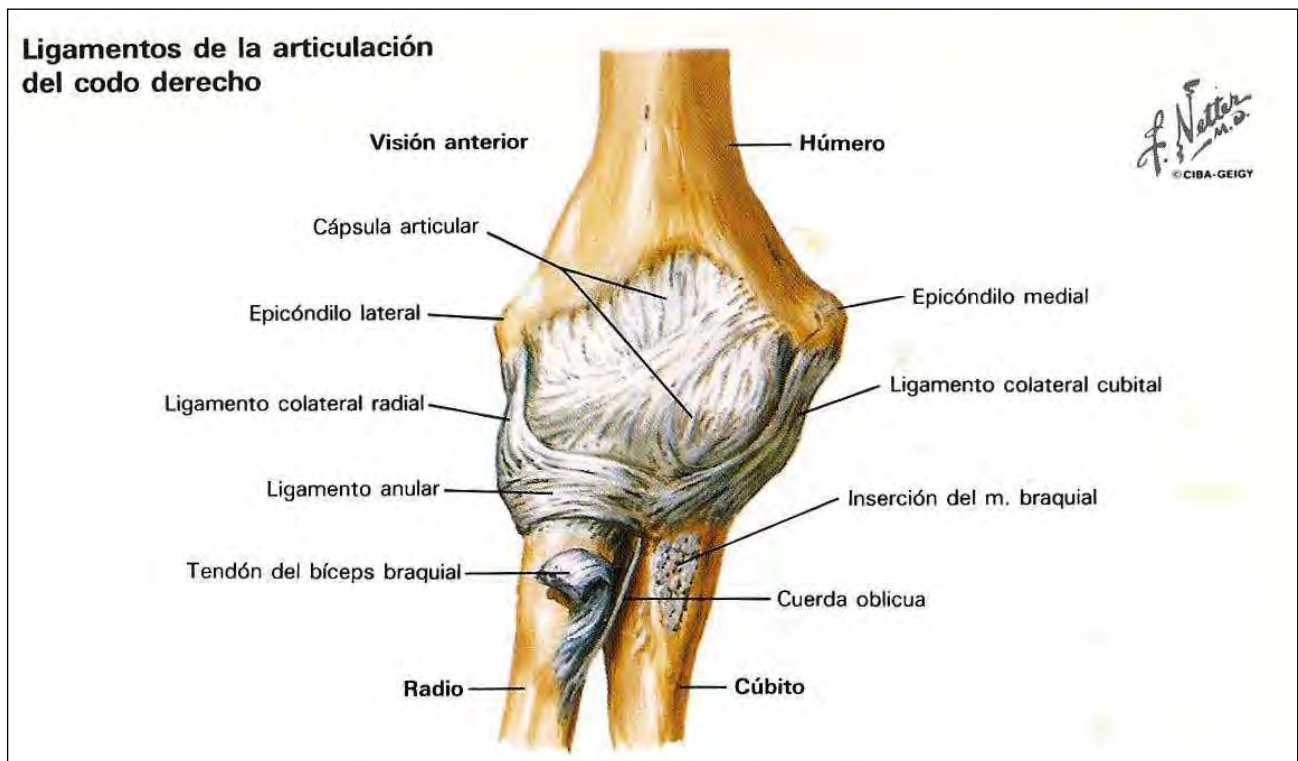
- Articulación húmero-cúbito: Es una tróclea aunque con un eje un poco oblicuo. La extremidad proximal del cúbito, en razón de que debe encargarse de soportar todo el peso de la mano y antebrazo en la flexión, experimenta un notable desarrollo y se modifica constituyendo la cavidad sigmoidea mayor, que va a encajar en una articulación troclear con la tróclea que tiene el húmero en su mitad interna de la extremidad articular distal.
- Articulación radio-cúbito: Es un trocoide. La cabeza del radio se ensancha, convirtiéndose en un tronco de cono que se va a articular por medio de una articulación trocoide con el cúbito.
- Articulación húmero-radio: Es una enartrosis, aunque actuará como una condílea. Correspondiendo la glenoide a la cúpula radial y el cóndilo a la porción externa de la superficie articular del húmero.

Estas articulaciones están envueltas en una sola cápsula, la cápsula articular. Ésta rodea por completo la articulación, siendo más débil en las porciones anterior y posterior. Proximalmente se inserta siguiendo los bordes proximales de las fosas coronoidea y radial, rodea el cóndilo humeral en su margen externo manteniendo el epicóndilo lateral fuera de la articulación, se continua insertándose en la región media de la fosa olecraneana y por último contornea la tróclea humeral medialmente, manteniendo el epicóndilo medial fuera de la articulación. Distalmente la cápsula fibrosa se inserta muy próxima a la contorno del cartílago articular del cúbito salvo en la cara supero-externa del olécranon donde se aleja de 2 a 3 cm. de este límite y en la región inferior de la apófisis coronoides, dejando dentro de la articulación el margen externo del olécranon y el pico del la coronoides. La cápsula continúa su inserción distal contorneando el radio a unos 5 mm. de la cabeza radial. La

la cápsula posee unos engrosamientos que limitan la separación-aproximación y la pronación-supinación.

Los ligamentos de la articulación del codo son los siguientes:

- Ligamento colateral cubital.
- Ligamento colateral radial
- Ligamento anular
- Ligamento cuadrado



La membrana sinovial tapiza la cápsula y toda la superficie ósea intracapsular no revestida de cartílago articular constituyendo tres recesos o fondos de saco: el fondo de saco anterior (a nivel de la fosa supratroclear), el fondo de saco posterior (a nivel de la fosa olecraneana) y el fondo de saco inferior con forma anular (a nivel de la porción intrarticular del cuello del radio). Se continúa a la articulación radioulnar proximal y forma un pliegue receso sacciforme, bajo el ligamento anular.

Un total de 17 músculos cruzan el codo y se extienden hasta el antebrazo, la mayoría de ellos participan en el movimiento del codo. A su vez, su función y eficiencia en los otros movimientos que producen se ven influenciados por la posición del codo. Sin embargo, los principales flexores de la articulación del codo son el braquial y el bíceps braquial. El braquiorradial (supinador largo) puede producir rápida flexión en ausencia de resistencia, incluso cuando los flexores principales están paralizados. Normalmente, con resistencia, el braquiorradial y el pronador redondo asisten a los flexores principales en la producción de una flexión más lenta. El principal extensor de la articulación del codo es el tríceps



braquial, especialmente la cabeza medial, débilmente asistida por el ancóneo. Según los movimientos podemos hacer la siguiente clasificación de los músculos de la articulación del codo:

- Músculos de extensión: tríceps braquial, ancóneo.
- Músculos de flexión: braquial anterior, braquiorradial y bíceps braquial.
- Músculo de supinación: Bíceps braquial.
- Músculos de pronación: Flexos radial del carpo, extensor largo radial del carpo, braquiradial y palmar largo, pronador redondo y pronador cuadrado.

La extensión completa de la articulación del codo se da a los 0°, la flexión completa a los 145° y la pronosupinación a los 90°

### 5.11.2. FISIOLOGÍA

Las funciones más importantes de las articulaciones en general, y de la articulación del codo en particular, son constituir puntos de unión del esqueleto y producir movimientos mecánicos, proporcionándole elasticidad y plasticidad al cuerpo, además de ser lugares de crecimiento.

Como ya se ha dicho anteriormente, la articulación del codo, es una articulación uniaxial (sólo permite movimiento en un eje) en bisagra o troclear. Las articulaciones en bisagra son articulaciones sinoviales donde las superficies articulares están moldeadas de manera tal que solo permiten los movimientos en el eje perlatelal (plano mediano o sagital) y solo pueden realizar dos tipos de movimientos flexión y extensión.

### 5.11.3. FACTORES DE RIESGO

Hay diversas causas que pueden ocasionar dolor en el codo. Una de las más comunes es la tendinitis, una inflamación o lesión de los tendones que unen los músculos al hueso. La tendinitis del codo suele ser una lesión deportiva, con frecuencia por jugar tenis o golf. También puede ocurrir una tendinitis por usar excesivamente el codo; la jardinería, usar un destornillador o utilizar en exceso la muñeca y el brazo son otras causas comunes de la tendinitis del codo. Otras causas de dolor en el codo incluyen distensiones, torceduras, fracturas, dislocaciones, bursitis y artritis. El tratamiento dependerá de la causa.

El codo de tenista o epicondilitis externa es una enfermedad bastante frecuente en la población general, y en algunos estudios se ha observado una alta incidencia en algunos grupos profesionales con tareas manuales intensivas, es más frecuente que la epicondilitis interna, codo de golfista.

Se cree que la epicondilitis está causada por esfuerzos repetitivos e intensos de la muñeca y de los dedos, no obstante, estudios controlados han dado resultados contradictorios con respecto al papel de las tareas manuales intensivas en el desarrollo de la enfermedad. Los



traumatismos también pueden tener su papel, y la proporción de casos ocurridos después de un traumatismo ha oscilado entre el 0 y el 26 % en diferentes estudios. La epicondilitis suele aparecer a partir de los 40 años de edad, y es rara antes de los 30 años. Una idea común acerca de su fisiopatología es la existencia de un desgarro en la inserción de los músculos. Los síntomas consisten en dolor, especialmente durante los ejercicios de la mano y la muñeca, la prensión de un objeto con el codo extendido puede ser sumamente dolorosa.

Existen varios conceptos sobre la patogenia de la epicondilitis. La duración suele oscilar entre varias semanas y algunos meses, tras lo cual suele producirse una recuperación completa. Entre los trabajadores con tareas intensivas, la duración de la baja laboral por epicondilitis se ha situado alrededor de las dos semanas o ligeramente por encima.

La artrosis casi nunca se observa en el codo en personas menores de 60 años. Sin embargo, se ha encontrado una prevalencia excesiva de artrosis en algunos grupos profesionales cuyo trabajo conlleva la utilización intensiva de herramientas de mano u otros trabajos manuales pesados. La artrosis del codo se ha asociado a la vibración, aunque se cree que no es específica de la vibración.

En la prevención y el tratamiento de la artrosis del codo destaca la optimización de la carga de trabajo mediante la mejora de las herramientas y de los métodos de trabajo, a fin de disminuir las cargas mecánicas impuestas a la extremidad superior, y reducir al mínimo la exposición a la vibración. Se puede realizar tratamiento con movimientos activos y pasivos para reducir al mínimo las limitaciones de la amplitud de movimiento.

Los esguinces de codo suelen venir precedidos de la práctica de ciertos deportes como la gimnasia, de la falta de coordinación, del desequilibrio, de una flexibilidad y fuerza inadecuadas en músculos y ligamentos y de articulaciones flojas.

#### 5.11.4. PATOLOGÍA

La epicondilitis es un proceso doloroso que se produce en el codo, en donde los músculos que permiten el movimiento de la muñeca y los dedos contactan con el hueso. Cuando este proceso doloroso se produce en la parte externa, se denomina codo de tenista (epicondilitis externa). Cuando tiene lugar en la parte interna de la articulación del codo, se denomina codo de golfista (epicondilitis interna).

La bursitis del olécranon es una inflamación del saco lleno de líquido que está situado en el lado dorsal del codo, bolsa del olécranon. Puede estar causada por traumatismos mecánicos repetidos, bursitis traumática o *del estudiante*. También puede ser debida a infección o asociarse a la gota. Existen tumefacción local y movimiento ondulante a la palpación debido a la acumulación de líquido en la bolsa. El aumento de la temperatura cutánea indica la existencia de un proceso infeccioso, bursitis séptica.



La artrosis es una enfermedad degenerativa resultante de la degradación del cartílago. Los síntomas son dolor local, al principio durante el movimiento y después también en reposo, y limitación de la amplitud de movimientos. En presencia de cuerpos libres en la articulación, puede producirse el bloqueo de la misma. La pérdida de la capacidad de extender la articulación por completo resulta especialmente discapacitante. Las anomalías radiológicas observadas consisten en el crecimiento de tejido óseo nuevo en los sitios en que los ligamentos y tendones están en contacto con el hueso. A veces es posible observar fragmentos sueltos de cartílago o de hueso. La lesión del cartílago articular puede dar lugar a la destrucción del tejido óseo subyacente y a la deformación de las superficies articulares.

## 5.12. ANTEBRAZO, MUÑECA Y MANO

### 5.12.1. ANATOMÍA

El antebrazo es una de las cuatro porciones en que se divide el miembro superior. El antebrazo está limitado por su cara superior con el brazo mediante el codo y por su cara inferior con la mano mediante la articulación de la muñeca.

El esqueleto óseo del antebrazo está compuesto por dos huesos largos: el radio (hueso externo) y el cúbito (hueso interno). El radio se articula con el hueso del brazo, el húmero, con el propio cúbito, y con los huesos del carpo escafoides y semilunar. El cúbito se articula únicamente con el hueso del brazo, el húmero, y con el radio. El antebrazo está formado por la articulación radicubital, que consiste en la unión, por la zona superior e inferior, del cúbito y el radio. Entre ellos existe un espacio recubierto por una sutura fibrocartilaginosa muy resistente. Esta articulación es la que permite los movimientos de pronación y supinación, donde el radio gira alrededor del cúbito.

La región muscular del antebrazo está compuesta por veinte músculos, y se dividen en tres regiones musculares:

- La región anterior del antebrazo contiene cuatro planos musculares con ocho músculos, que son, del más superficial al más profundo:
  - Primer plano (sentido lateromedial):
    - Pronador redondo.
    - Palmar mayor, o flexor radial del carpo.
    - Palmar menor, o palmar largo.
    - Cubital anterior, o flexor cubital del carpo.
  - Segundo plano:
    - Se encuentra el flexor superficial de los dedos, que contiene cuatro fascículos.
  - Tercer plano:
    - Flexor profundo de los dedos de la mano, compuesto por cuatro fascículos.
    - Flexor largo del pulgar.
  - Cuarto plano:
    - Pronador cuadrado.
- La región postero-externa del antebrazo contiene cuatro músculos que son, del más superficial al más profundo:
  - Supinador largo, o braquiorradial.
  - Extensor radial largo del carpo.
  - Extensor radial corto del carpo.

- Supinador corto, o supinador.
- La región posterior del antebrazo contiene dos planos musculares con un total de ocho músculos:
  - Plano superficial (sentido lateromedial):
    - Ancóneo (se encuentra únicamente en 3 personas de cada 10).
    - Extensor común de los dedos, dividido en tres fascículos.
    - Extensor propio del meñique.
    - Cubital posterior.
  - Plano profundo (sentido lateromedial y anteroposterior):
    - Extensor corto del pulgar.
    - Abductor largo del pulgar.
    - Extensor largo del pulgar.
    - Extensor propio del índice.

La muñeca es la articulación que une los segmentos tercero y cuarto del miembro superior, es decir, el antebrazo y la mano. Considerada en conjunto, es una articulación condílea, pues permite realizar movimientos de flexión, extensión, aducción, abducción y circunducción, pero no rotación. En realidad la muñeca está compuesta no solo por una, sino por tres articulaciones:

La articulación de la cámara proximal de la muñeca o radiocarpiana: Las superficies óseas son, por arriba, el radio, y por abajo, el escafoides, el semilunar y el piramidal. La articulación está reforzada por la cápsula articular y por los ligamentos laterales, anterior y posterior. Es una articulación condílea morfológica y funcional.

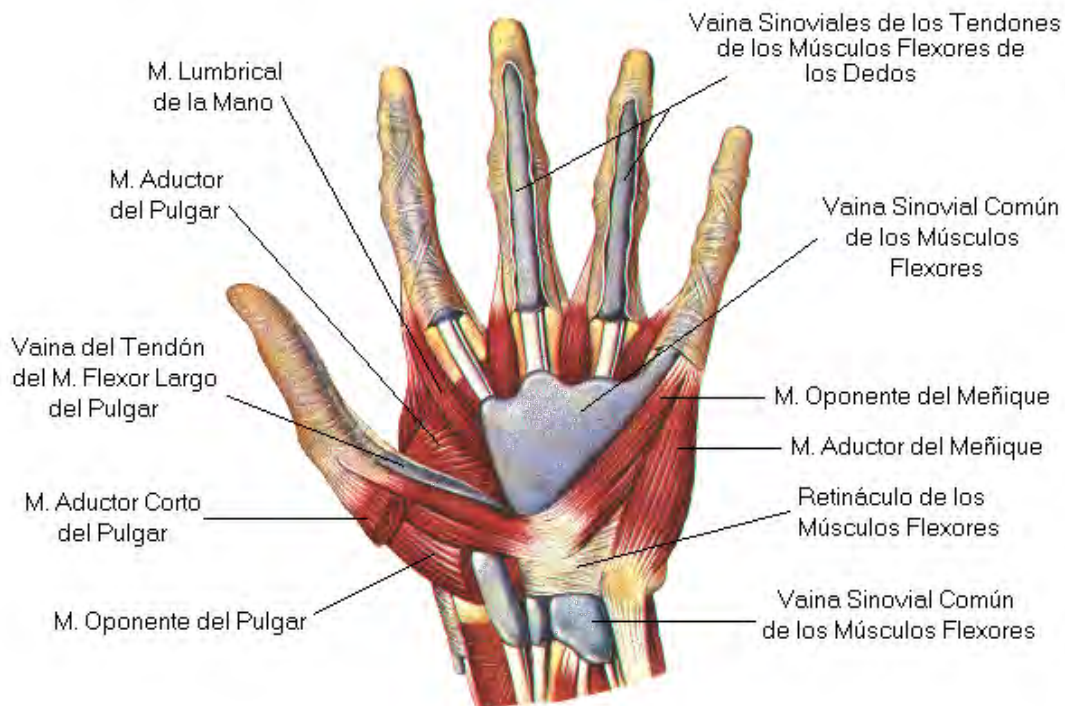
La articulación externa de la cámara distal de la muñeca: Las superficies óseas son, por arriba, el escafoides, y por abajo, el trapecio y el trapezoide. La articulación está reforzada por la cápsula articular y por los ligamentos laterales, anterior y posterior. Es una articulación doble artrodia morfológica y una condílea funcional.

La articulación interna de la cámara distal de la muñeca: Las superficies óseas son, por arriba, el escafoides, el semilunar, el piramidal y el pisiforme, por debajo, en la segunda hilera: trapecio, trapezoide, grande y ganchoso. La articulación está reforzada por la cápsula articular y por los ligamentos laterales, anterior y posterior. Es una articulación condílea morfológica y funcional.

Las manos forman parte de los miembros superiores del cuerpo humano, siendo el cuarto segmento. Están localizadas en los extremos de los antebrazos, son prensiles y tienen cinco dedos cada una. Abarcan desde la muñeca hasta la yema de los dedos.

La mano humana consiste en una palma central, cuyos huesos forman el metacarpo, de la

que surgen cinco dedos, está unida al antebrazo por una unión llamada muñeca, cuyos huesos forman el carpo. Además, la mano está compuesta de varios músculos y ligamentos diferentes que permiten una gran cantidad de movimientos y de destreza.



Músculos de la mano.

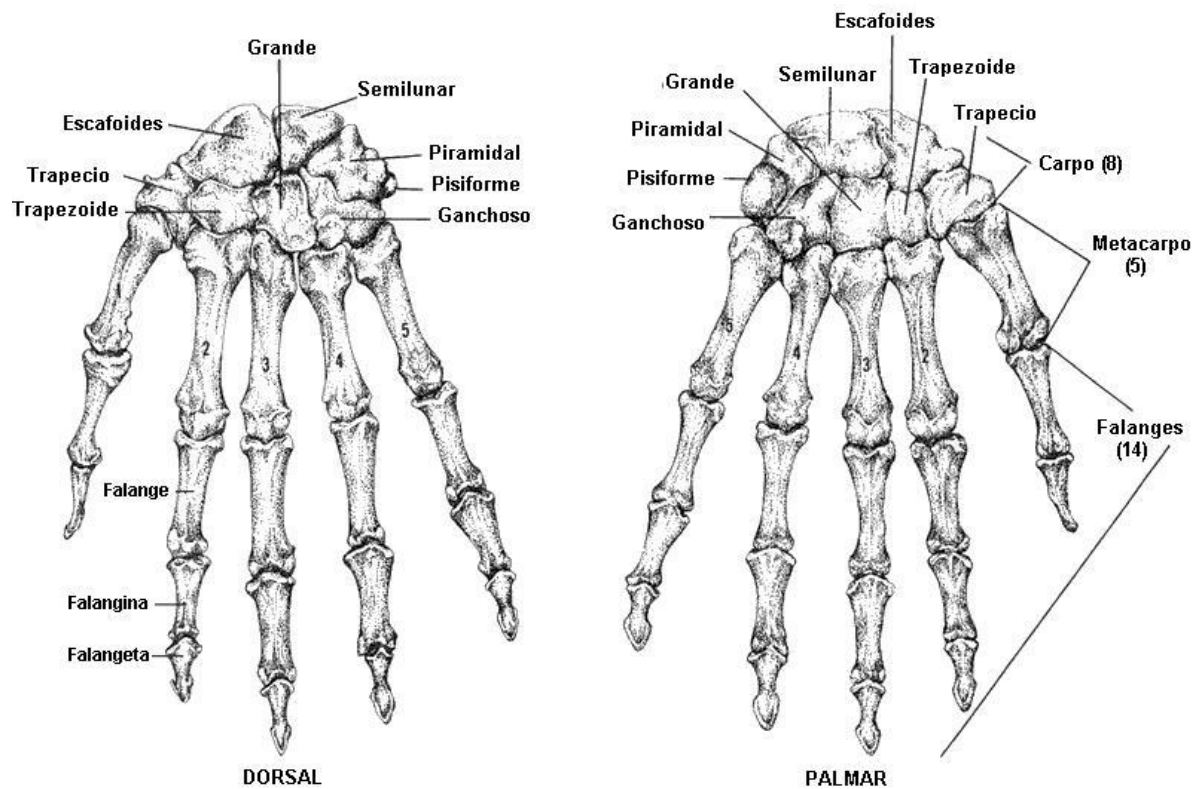
El nombre de los cinco dedos de fuera a dentro, con la palma hacia arriba son: Pulgar, índice, corazón, anular y meñique. El dedo pulgar, conectado al trapecio, está en el lado interno de la mano, paralelo al brazo. El pulgar puede rotar fácilmente  $90^\circ$ , perpendicularmente a la palma, no como el resto de dedos que solamente pueden rotar cerca de  $45^\circ$ . El pulgar de la mano humana es completamente oponible a los otros cuatro dedos, puede tocar los demás dedos desde su punta hasta su base e incluso la parte superior de la palma de la mano. Esta cualidad le da a la mano de humana una ventaja evolutiva muy notable ya que mediante esta función anatómica, el pulgar puede manipular objetos grandes apoyándose con la palma de la mano y objetos medianos o pequeños apoyándose con uno o más dedos.

La mano humana tiene 27 huesos: 8 en el carpo o la muñeca; 5 en el metacarpo o la palma y 14 falanges. En conjunto forman un canal de concavidad anterior por el que se deslizan los tendones de los músculos flexores de los dedos.

- Los huesos de la muñeca, como ya se ha dicho anteriormente, están dispuestos en dos grupos de cuatro. Estos huesos encajan en una pequeña cavidad formada por los huesos del antebrazo el radio y el cúbito, si bien es de resaltar que el cúbito no se articula verdaderamente con ninguno de los huesos de la muñeca. Bajo la cara

inferior del cúbito se encuentra el ligamento triangular de la muñeca, que sí se articula con los huesos. Los huesos de la fila proximal son, de fuera hacia adentro: el escafoides, el semilunar, el piramidal y el pisiforme. Los huesos de la fila distal son, de fuera hacia dentro: el trapecio, el trapezoide, el grande y el ganchoso.

- La palma de la mano tiene cinco huesos, los huesos metacarpos, uno por cada dedo.
- Las manos humanas contienen catorce falanges, también llamados huesos digitales: dos en el pulgar, y tres en cada uno de los otros cuatro dedos. El pulgar no tiene falange media. Las falanges son la distal, la media y la proximal.



Huesos de la mano.

### 5.12.2. FISIOLÓGÍA

Las manos son el principal órgano para la manipulación física del medio. La punta de los dedos contiene algunas de las zonas con más terminaciones nerviosas del cuerpo humano, siendo la principal fuente de información táctil sobre el entorno, por eso el sentido del tacto se asocia inmediatamente con las manos. Como en los otros órganos pares, ojos, **oídos, piernas... cada mano, está controlada por el hemisferio del lado contrario del cuerpo.** Siempre hay una dominante sobre la otra, la cual se encargará de actividades como la escritura, de esta forma, el individuo podrá ser zurdo, si la predominancia es de la mano izquierda o diestro si es de la derecha.

El uso principal de las manos es el de tomar y sostener objetos, aunque de estos usos generales derivan muchos más, debido a la gran versatilidad de movimiento del que es capaz la mano, así como por la precisión que puede alcanzar en estos movimientos.

### 5.12.3. FACTORES DE RIESGO

#### Tenosinovitis y peritendinitis:

La aparición de tenosinovitis o peritendinitis es muy variable según el tipo de trabajo. Se han descrito de modo característico incidencias altas en trabajadores de fabricación como procesadores de alimentos, carniceros, envasadores y montadores. Los trastornos de los tendones son más frecuentes en la región dorsal que en la cara flexora de la muñeca. El dolor y otros síntomas de la extremidad superior son frecuentes también en otros tipos de tareas, como el trabajo con teclado. No obstante, los signos clínicos que presentan estas personas rara vez son compatibles con una tenosinovitis o una peritendinitis.

La repetición frecuente de movimientos en el trabajo y las demandas elevadas de fuerza en la mano son poderosos factores de riesgo, sobre todo cuando se dan conjuntamente (Silverstein, Fine y Armstrong 1986). Sin embargo, todavía no existen valores aceptados generalmente con relación a la repetitividad y el uso de fuerza aceptables (Hagberg y cols. 1995). La falta de costumbre de realizar un trabajo manual intensivo, ya sea como trabajador nuevo o después de una ausencia del trabajo, aumenta el riesgo. Las posturas desviadas o dobladas de la muñeca en el trabajo y la baja temperatura ambiental también se han considerado factores de riesgo, aunque las pruebas epidemiológicas que lo apoyan son débiles. La tenosinovitis y la peritendinitis se producen a todas las edades. Existen algunas pruebas de que las mujeres podrían ser más susceptibles que los varones (Silverstein, Fine y Armstrong 1986). No obstante, esto ha sido difícil de investigar, ya que en muchas industrias los trabajos que realizan hombres y mujeres son muy diferentes. La tenosinovitis puede ser debida a infección bacteriana, y algunas enfermedades sistémicas, como la artritis reumatoide y la gota, a menudo se asocian a tenosinovitis. Se sabe poco acerca de otros factores de riesgo individuales.





Para prevenir la tenosinovitis y la peritendinitis es preciso evitar los movimientos muy repetitivos y de fuerza en el trabajo. Además de prestar atención a los métodos de trabajo, los factores de organización del trabajo (la cantidad y el ritmo, las pausas y las rotaciones) también determinan la carga local impuesta a la extremidad superior, por lo que debe considerarse asimismo la posibilidad de introducir variabilidad en el trabajo mediante la modificación de estos factores. Los trabajadores nuevos y los que vuelven al trabajo después de una baja o que cambian de tarea se deben acostumbrar gradualmente al trabajo repetitivo.

En los trabajadores industriales con tareas manuales grandes, la duración típica de la baja laboral por tenosinovitis o peritendinitis ha sido de unos diez días. El pronóstico de ambos procesos suele ser bueno, y la mayoría de los trabajadores pueden reanudar sus tareas laborales previas.

Se han sugerido como factores causales de la Tenosinovitis de De Quervain los movimientos repetitivos de la muñeca y los traumatismos contusos, aunque no se ha realizado una investigación epidemiológica.

#### Tenosinovitis estenosante de los dedos:

Las causas del dedo en resorte son en gran parte desconocidas. Algunos casos producidos en la primera infancia es probable que sean congénitos, y otros parecen surgir después de un traumatismo. Se ha postulado que el dedo en resorte está causado por movimientos repetitivos, aunque no se han realizado estudios epidemiológicos para comprobarlo.

#### Artrosis:

La prevalencia de artrosis detectable radiológicamente en la muñeca y la mano es rara en la población normal menor de 40 años, y más frecuente en varones (Kärkkäinen 1985). A partir de los 50 años, la artrosis de la mano es más frecuente en las mujeres. El trabajo manual pesado, con o sin exposición a vibraciones de baja frecuencia (menos de 40 Hz), se ha asociado, aunque no de forma constante, a una prevalencia excesiva de artrosis de muñeca y mano. No se ha informado de un exceso de patología articular para frecuencias de vibración más altas (Gemne y Saraste 1987).

La artrosis de la primera articulación entre la base del pulgar y la muñeca (articulación carpometacarpiana) es bastante frecuente en la población general, y más en el sexo femenino. La artrosis es menos frecuente en los nudillos (articulaciones metacarpofalángicas), con la excepción de la articulación metacarpofalángica del pulgar. No se conoce bien la etiología de estos trastornos.

Los cambios artrósicos son frecuentes en las articulaciones más próximas a la punta de los dedos (articulaciones interfalángicas distales de los dedos), en las que la prevalencia



ajustada para la edad de cambios detectables radiológicamente (leves a intensos) en los diferentes dedos oscila entre el 9 y el 16 % para los varones y entre el 13 y el 22 % en las mujeres de una población normal. La artrosis interfalángica distal puede detectarse en la exploración clínica como crecimientos nodulares de las articulaciones, denominados nódulos de Heberden. En un estudio sueco de población realizado en mujeres y varones de 55 años de edad se detectaron nódulos de Heberden en el 5 % de los varones y en el 28 % de las mujeres. La mayoría de los sujetos mostraron cambios en ambas manos. La presencia de nódulos de Heberden mostró una correlación con el trabajo manual pesado (Bergenudd, Lindgärde y Nilsson 1989).

La carga articular asociada a la manipulación de herramientas, los movimientos repetitivos de la mano y el brazo, posiblemente junto con traumatismos menores, la carga de las superficies articulares en las posturas extremas y el trabajo estático se han considerado posibles factores causales de la artrosis de muñeca y mano. Aunque no se ha considerado a la artrosis específica de la vibración de baja frecuencia, es posible que los siguientes factores también intervengan: lesión del cartilago articular por choques de la herramienta, carga articular adicional asociada a una mayor necesidad de estabilización de la articulación inducida por la vibración, el reflejo de vibración tónica y una prensión más fuerte de la herramienta inducida cuando la sensibilidad táctil está disminuida por la vibración (Gemne y Saraste 1987).

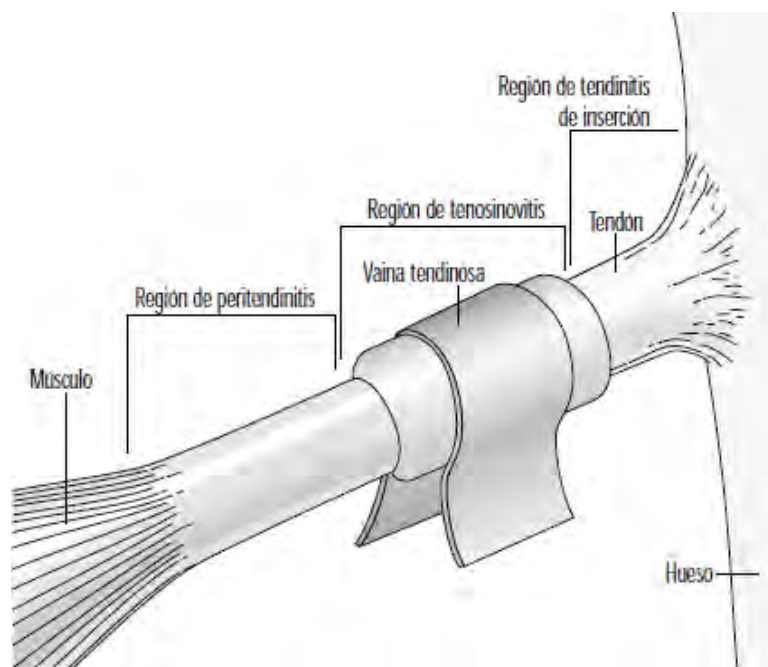
#### Trastornos del control motor de la mano (calambre del escritor):

No se conocen por completo las causas del calambre del escritor y de los trastornos relacionados. Se ha sugerido una predisposición hereditaria. Estos procesos se consideran en la actualidad una forma de distonía específica de la tarea. (Las distonías son un grupo de trastornos caracterizados por contracciones musculares involuntarias permanentes, que provocan movimientos de giro repetitivos o posturas anormales.) En los pacientes con calambre del escritor no se han descrito pruebas anatomopatológicas de enfermedad cerebral. Investigaciones electrofisiológicas han revelado una activación anormalmente prolongada de los músculos que participan en la escritura, así como una activación excesiva de los músculos que no intervienen directamente en ella (Marsden y Sheehy 1990).

#### 5.12.4. PATOLOGÍA

##### Tenosinovitis y peritendinitis:

En la muñeca y en la mano, los tendones están rodeados por vainas tendinosas, estructuras tubulares que contienen líquido para proporcionar lubricación y protección al tendón. La inflamación de la vaina tendinosa se denomina tenosinovitis. La que se produce en el punto en que el músculo se une al tendón se denomina peritendinitis. La tenosinovitis de la muñeca se localiza en la zona de la vaina tendinosa de la muñeca, mientras que la peritendinitis lo hace por encima de la zona de la vaina tendinosa en el antebrazo. Se denomina tendinitis de inserción a una inflamación del tendón en el lugar de unión al hueso.



La unidad musculotendinosa

En la tenosinovitis, la zona de la vaina tendinosa es dolorosa, sobre todo en sus extremos. Los movimientos del tendón están restringidos o bloqueados, y la prensión es débil. Los síntomas a menudo empeoran por la mañana, con mejoría de la capacidad funcional después de realizada cierta actividad. La zona de la vaina tendinosa presenta hiperestesia a la palpación, y también se pueden encontrar nódulos hiperestésicos. El acto de doblar la muñeca aumenta el dolor. La zona de la vaina tendinosa puede estar asimismo hinchada, y el acto de doblar la muñeca hacia atrás o adelante produce crepitación o crujidos. En la peritendinitis a menudo es posible observar una tumefacción fusiforme en la cara posterior del antebrazo.

La tenosinovitis de los tendones flexores de la cara palmar de la muñeca puede producir el atrapamiento del nervio mediano en su trayecto a través de la muñeca, dando lugar al síndrome del túnel del carpo.

La fisiopatología en la fase aguda de la enfermedad se caracteriza por la acumulación de líquido y de una sustancia llamada fibrina en la vaina del tendón en la tenosinovitis, y en el paratendon y entre las células musculares en la peritendinitis. Posteriormente se observa crecimiento celular (Moore 1992).

#### La tenosinovitis de De Quervain:

Es una tenosinovitis estenosante (o constrictora) de las vainas tendinosas de los músculos que extienden y separan (abducen) el pulgar en la cara externa de la muñeca. El proceso aparece al principio de la niñez y en cualquier edad posterior. Suele ser más frecuente en el sexo femenino. Los síntomas son dolor local en la muñeca y debilidad para la prensión. El dolor se extiende en ocasiones al pulgar o al antebrazo. Existe hipersensibilidad y finalmente un engrosamiento a la palpación en el lugar de la constricción. En ocasiones son visibles engrosamientos nodulares. Al doblar la muñeca hacia el meñique con el pulgar flexionado hacia la palma (prueba de Finkelstein) se agudizan los síntomas. En algunos casos se observa engatillado o chasquido al mover el pulgar.

Los cambios anatomopatológicos consisten en engrosamiento de las capas externas de las vainas tendinosas. El tendón puede estar constreñido y mostrar un aumento de tamaño más allá del punto de constricción.

#### Tenosinovitis estenosante de los dedos:

Las vainas tendinosas de los tendones flexores de los dedos se mantienen próximas a los ejes de las articulaciones mediante bandas tensas denominadas poleas. Las poleas pueden engrosarse, y el tendón mostrar una tumefacción nodular más allá de la polea, lo que ocasiona una tenosinovitis estenosante, a menudo acompañada de bloqueo doloroso o de dedo en resorte. Para referirse a estas situaciones se han utilizado las denominaciones de dedo en resorte o pulgar en resorte.

El diagnóstico se basa en la presencia de tumefacción local, engrosamiento nodular eventual y chasquido o bloqueo. El proceso a menudo se encuentra en la palma, a nivel de las cabezas de los metacarpianos (los nudillos), aunque puede ocurrir también en cualquier otro lugar y en localizaciones múltiples.

#### Artrosis:

Los síntomas de artrosis consisten en dolor durante el movimiento en las fases iniciales, y posteriormente también durante el reposo. La limitación del movimiento en la muñeca no interfiere de forma acusada las actividades laborales ni otras actividades de la vida diaria, mientras que la artrosis de las articulaciones de los dedos puede interferir en la capacidad de prensión.

Para evitar la artrosis deben desarrollarse herramientas que ayuden a disminuir el trabajo

manual pesado. También debe reducirse al mínimo la vibración de las herramientas.

#### Síndrome compartimental:

Los músculos, nervios y vasos sanguíneos del antebrazo y de la mano están situados en compartimientos específicos limitados por huesos, membranas y otros tejidos conjuntivos. Se entiende por síndrome compartimental un proceso en el que la presión intracompartimental aumenta de forma constante o repetida hasta un punto en que las estructuras compartimentales pueden resultar lesionadas (Mubarak 1981). Esto puede ocurrir después de un traumatismo, como una fractura o una lesión por aplastamiento del brazo. El síndrome compartimental después de un ejercicio intenso de los músculos es una enfermedad bien conocida de la extremidad inferior. También se han descrito algunos casos de síndrome compartimental por el ejercicio en el antebrazo y la mano, aunque la causa de estos procesos se desconoce. No se han definido criterios diagnósticos aceptados en general ni indicaciones terapéuticas. Los trabajadores afectados han realizado por lo general un trabajo manual intenso, aunque no se han publicado estudios epidemiológicos sobre la asociación entre el trabajo y estas enfermedades.

Los síntomas del síndrome compartimental son tensión de los límites aponeuróticos del compartimiento, dolor durante la contracción muscular y, posteriormente, también durante el reposo, y debilidad muscular.

La presión intracompartimental aumenta cuando lo hace el volumen del contenido en el compartimiento rígido. Ello va seguido de un aumento de la presión venosa y de una disminución de la diferencia entre las presiones arterial y venosa, lo que a su vez afecta al aporte de sangre al músculo. A continuación existen producción anaerobia de energía y lesión muscular.

La prevención del síndrome compartimental por esfuerzo consiste en evitar o restringir la actividad causante de los síntomas hasta un nivel tolerable.

#### Trombosis de la arteria cubital (síndrome del martillo hipotenar):

La arteria cubital puede sufrir daño, con la consiguiente trombosis y oclusión del vaso, en el canal de Guyon, situado en la cara interna (cubital) de la palma. A menudo la enfermedad va precedida de una historia de traumatismos repetidos sobre la cara cubital de la palma (eminencia hipotenar), como pueden ser el martilleo intenso o la utilización de la eminencia hipotenar como si fuera un martillo (Jupiter y Kleinert 1988).

Los síntomas consisten en dolor y calambres, así como intolerancia al frío de los dedos cuarto y quinto. También puede haber trastornos dolorosos del tipo de dolor sordo, hormigueo y entumecimiento, pero el rendimiento de los músculos suele ser normal.

#### Contractura de Dupuytren:



La contractura de Dupuytren es un acortamiento progresivo (fibrosis) de la aponeurosis palmar (tejido conjuntivo que une los tendones flexores de los dedos) de la mano, que da lugar a una contractura permanente de los dedos en flexión. Es un proceso frecuente en las personas del norte de Europa, que afecta al 3 % aproximadamente de la población general. La prevalencia suele ser el doble en los varones que en las mujeres, llegando hasta el 20 % en los varones mayores de 60 años. La contractura de Dupuytren se asocia a epilepsia, diabetes tipo I, consumo de alcohol y tabaquismo. Existen pruebas de una relación entre la exposición a la vibración procedente de herramientas manuales y la contractura de Dupuytren. La presencia de la enfermedad se ha asociado también a lesiones aisladas y al trabajo manual pesado.

La modificación fibrótica aparece primero como un nódulo. Posteriormente, la aponeurosis se engrosa y acorta, formando una unión en forma de cordón con el dedo. Al avanzar el proceso, los dedos quedan en flexión permanente. Los primeros en afectarse suelen ser el quinto y cuarto dedos, aunque también pueden serlo otros. En la cara posterior de los dedos pueden verse abultamientos en los nudillos.

#### Quistes sinoviales de muñeca y mano:

Un ganglión es un pequeño saco blando lleno de líquido; los quistes sinoviales representan la mayor parte de todos los tumores de tejidos blandos de la mano. Los quistes sinoviales son frecuentes, aunque no se conoce su prevalencia en poblaciones; en poblaciones clínicas, las mujeres han mostrado una prevalencia algo mayor que los varones, y han estado representados tanto los niños como los adultos. Existe controversia acerca de las causas de los quistes sinoviales. Algunos autores los consideran congénitos, mientras que otros opinan que en su desarrollo pueden intervenir los traumatismos agudos o repetidos. También existen diversas opiniones en cuanto al proceso de su desarrollo (Angelides 1982).

La localización más típica del ganglión es en la cara exterior del dorso de la muñeca (ganglión dorsorradial), donde se puede presentar como una formación blanda claramente visible. Un ganglión dorsal más pequeño puede pasar inadvertido si no se flexiona marcadamente la muñeca. El ganglión palmar de la muñeca (situado en la cara palmar de ésta) se localiza típicamente en el lado exterior del tendón del flexor radial de la muñeca. El tercer tipo de ganglión en cuanto a frecuencia se sitúa en la polea de la vaina del tendón flexor de los dedos, a nivel de los nudillos. Un ganglión palmar de la muñeca puede producir el atrapamiento del nervio mediano en la muñeca, dando lugar a un síndrome del túnel de carpo. En raros casos, un ganglión puede localizarse en el canal cubital (canal de Guyon) en la parte interior de la palma y causar el atrapamiento del nervio cubital.

Los síntomas de los tumores sinoviales de la muñeca son dolor local típico durante el



esfuerzo, así como posturas desviadas de la muñeca. Los tumores sinoviales de la palma y de los dedos suelen resultar dolorosos durante la prensión.

#### Trastornos del control motor de la mano (calambre del escritor):

El temblor y otros movimientos incontrolados pueden alterar las funciones de la mano que requieren una alta precisión y control, como la escritura, el montaje de piezas pequeñas y el tañido de instrumentos musicales. La forma clásica del trastorno es el calambre del escritor cuya tasa de aparición se desconoce. Afecta a ambos sexos y parece ser habitual en los decenios tercero, cuarto y quinto de la vida.

En el calambre del escritor aparece un espasmo muscular, por lo general indoloro, inmediatamente o poco después de comenzar a escribir. Los dedos, la muñeca y la mano pueden adoptar posturas anormales, y la pluma a menudo se sujeta con una fuerza excesiva. La situación neurológica puede ser normal. En algunos casos se observa una mayor tensión o temblor del brazo afectado.

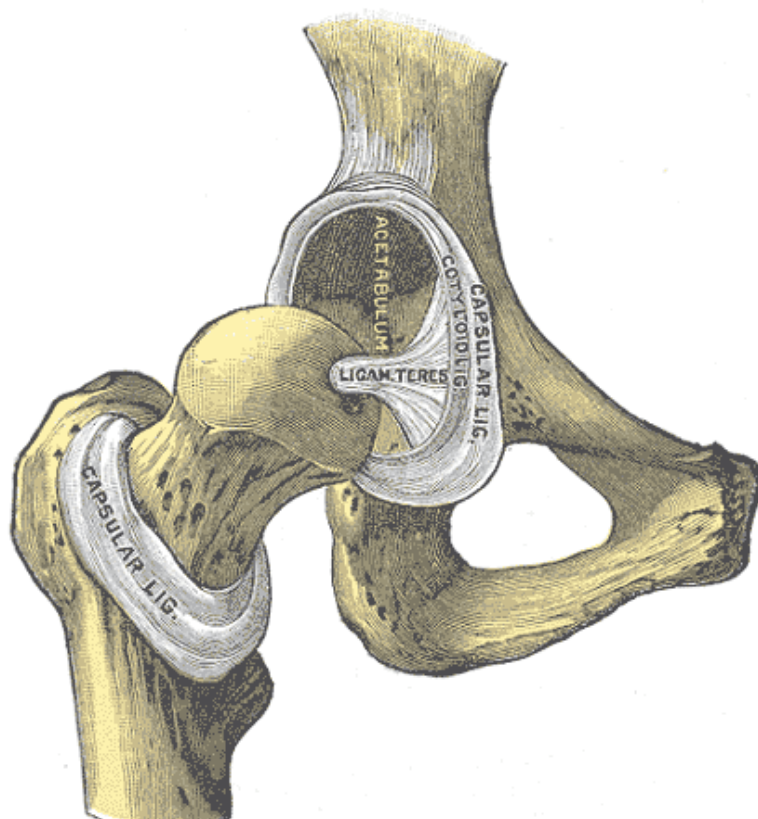
Algunas de las personas que padecen este proceso aprenden a escribir con la mano no dominante, y una pequeña proporción de estos presentan también calambres en dicha mano no dominante. La curación espontánea del calambre del escritor es rara.

## 5.13. CADERA Y RODILLA

### 5.13.1. ANATOMÍA

La cadera es una diartrodia, de tipo enartrosis que posee dos superficies óseas, la cavidad cotiloidea y la cabeza del fémur cubiertas por cartílago hialino, una cápsula y una membrana sinovial. Esta articulación efectúa los siguientes movimientos: flexión, extensión, abducción, aducción, rotación interna, rotación externa y circunducción.

Las superficies óseas articulares de la cadera son la cabeza esférica del fémur y la cavidad cotiloidea o acetábulo del hueso coxal o innominado. El acetábulo está formado por el ilion, el isquion y el pubis, en él se articula más de la mitad de la cabeza femoral. El acetábulo consta de una superficie articular semiesférica y su borde, la ceja cotiloidea, presenta en su parte inferior una muesca denominada escotadura isquiopubiana. Distal a la cabeza del fémur se encuentra el cuello femoral, el cual se une a la región trocantérea y esta a la vez se continúa con la diáfisis femoral. La parte inferior del cuello se denomina calcar cuya cortical se encuentra engrosada. El ángulo entre la diáfisis y el cuello femoral es de aproximadamente 135 grados en el plano frontal y tiene un ángulo de anteversión de alrededor de 15 grados en el plano lateral.



Articulación de la cadera, uniendo al fémur con el coxal.

En sentido proximal, se fija en el contorno de la cavidad cotiloidea y distalmente viene a insertarse por delante en la línea oblicua o intertrocanterea del fémur y por detrás cruza la



parte media del cuello de este hueso. Por lo tanto, la superficie anterior del cuello del fémur en su totalidad, es intracapsular mientras que solamente se encuentra dentro de la cápsula la mitad medial de la superficie posterior. Además de sus fuertes fibras intrínsecas propias, la cápsula de la articulación de la cadera se halla reforzada por otros ligamentos.

- Ligamento iliofemoral
- Ligamento pubofemoral
- Ligamento isquiofemoral

También existe el ligamento redondo del fémur, que se inserta en la fovea de la cabeza femoral y que contiene la arteria del ligamento redondo derivada de la arteria obturatriz. El reborde del cotilo se encuentra reforzado por un rodete cotiloideo o labrum que se completa en su parte inferior con el ligamento transverso que cierra la escotadura acetabular.

El músculo psoasíliaco se inserta en el trocánter menor siendo un potente flexor de la cadera y rotador externo del fémur. Por detrás están los músculos piramidal de la pelvis, cuadrado crural, obturador interno y géminos que son rotadores externos del fémur a nivel de la cadera.

Desde el punto de vista funcional, el principal músculo de la cadera es el glúteo medio que se inserta distalmente en el trocánter mayor. Su función es la abducción de la cadera, aunque sus fibras anteriores también ayudan en la flexión. Este músculo estabiliza la cadera y la pelvis durante la marcha. El glúteo menor ayuda en la acción del glúteo medio pero su eficiencia es mucho menor. Por otra parte el glúteo mayor se inserta hacia la parte posterior del fémur proximal siendo principalmente extensor de la cadera.

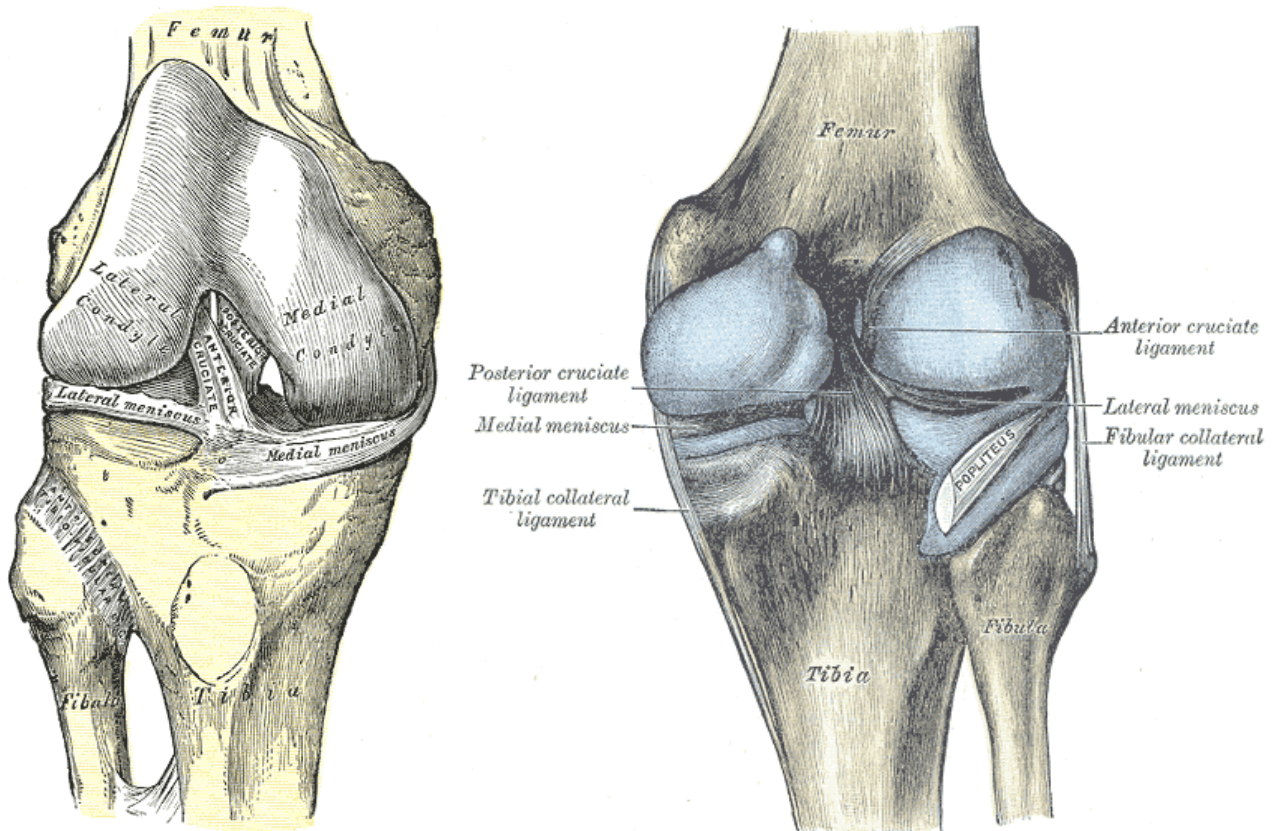
La rodilla es la articulación más grande del cuerpo humano y una de las más complejas. Sirve de unión entre el muslo y la pierna. Soporta la mayor parte del peso del cuerpo en posición de pie. Está compuesta por la acción conjunta del fémur, de la tibia, la rótula y dos discos fibrocartilaginosos que son los meniscos. Fémur y tibia conforman el cuerpo principal de la articulación, mientras que la rótula actúa como una polea y sirve de inserción al tendón del cuádriceps y al tendón rotuliano cuya función es transmitir la fuerza generada cuando se contrae el cuádriceps.

La rodilla está sustentada por fuertes ligamentos que impiden que sufra una luxación, siendo los más importantes el ligamento lateral externo, el ligamento lateral interno, el ligamento cruzado anterior y el ligamento cruzado posterior.

Es una articulación compuesta que está formada por dos articulaciones diferentes:

- Articulación femorotibial: Es la más importante y pone en contacto las superficies de los cóndilos femorales con la tibia. Es una articulación bicondilea.

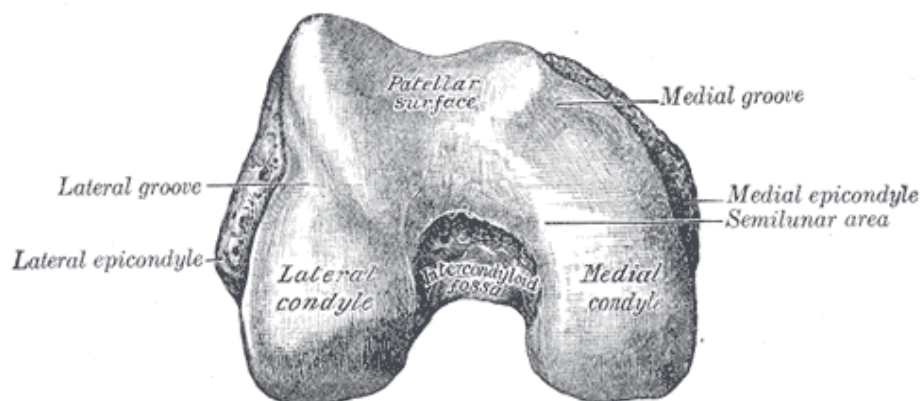
- Articulación femoropatelar: Está formada por la tróclea femoral y la parte posterior de la rótula. Es una diartrosis del género troclear.



Vistas anterior y posterior de la rodilla derecha humana.

El extremo inferior del fémur presenta dos protuberancias redondeadas llamadas cóndilos que están separadas por un espacio intermedio que se denomina espacio intercondileo.

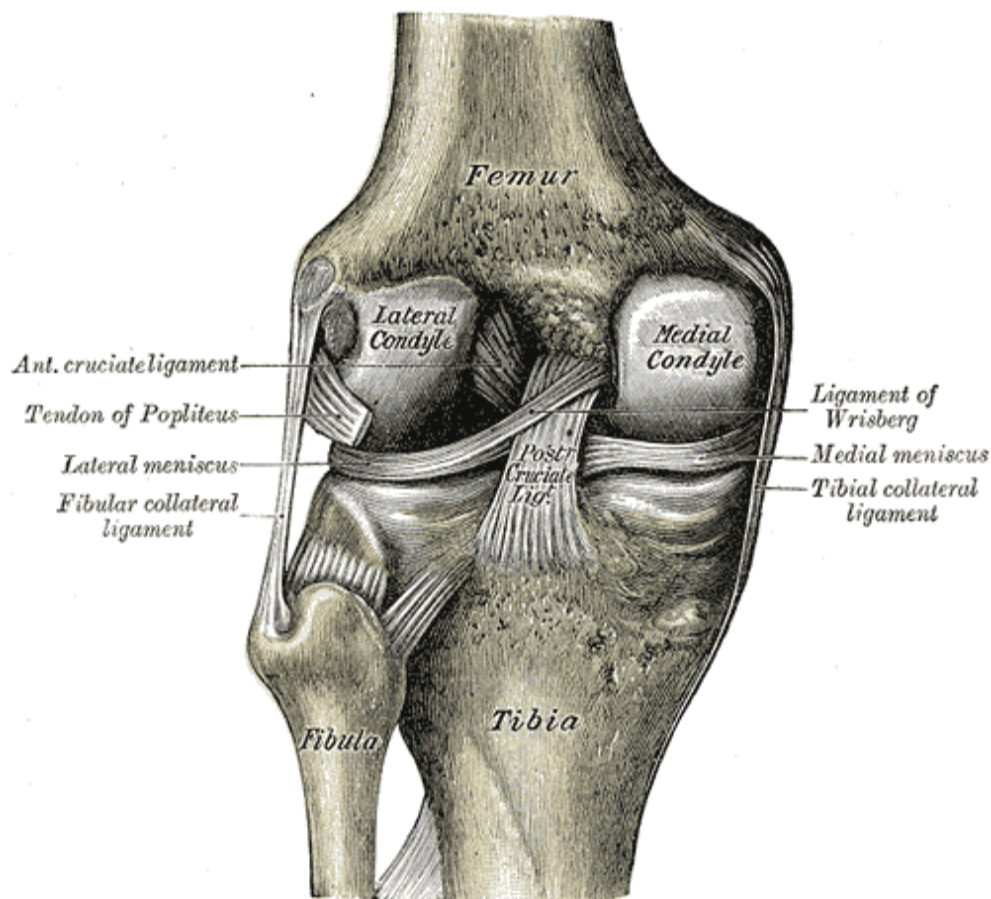
Por su parte el extremo superior de la tibia posee dos cavidades, las cavidades glenoideas, que sirven para albergar a los cóndilos del fémur. Entre las dos cavidades glenoideas se encuentran unas prominencias, las espinas tibiales, en las que se insertan los ligamentos cruzados. En la parte anterior de la tibia existe otro saliente, la tuberosidad anterior que sirve de inserción al **tendón rotuliano**.



Representación de los cóndilos del fémur.

Por otra parte la rótula se articula en su porción posterior con una parte del fémur que se llama tróclea femoral. Entre ambas superficies se interpone un cartílago, el cartílago prerotuliano que amortigua la presión entre los dos huesos.

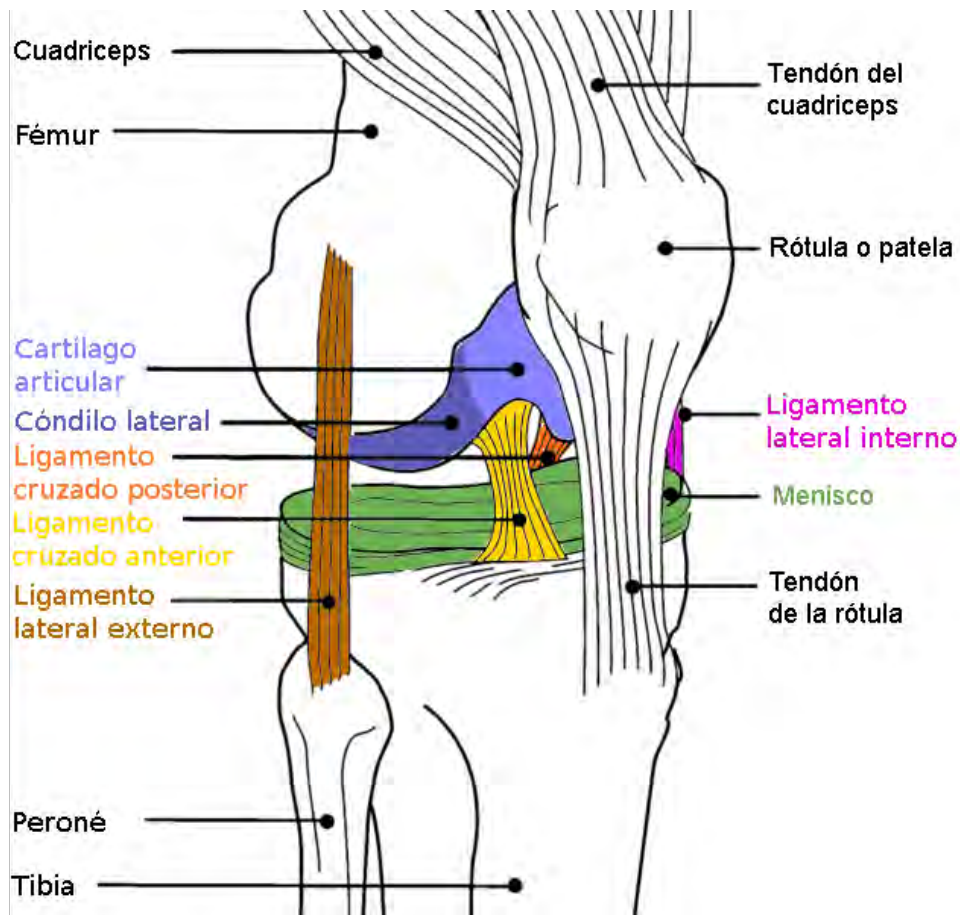
Los meniscos son dos fibrocartílagos que no poseen vasos sanguíneos ni terminaciones nerviosas, por lo que al lesionarse no se siente dolor agudo pero sí molestia en la zona. Están dispuestos entre la tibia y el fémur y hacen de nexo entre estos, pues las cavidades glenoidales de la tibia son poco cóncavas mientras los cóndilos femorales presentan una convexidad más acentuada. También son encargados de agregar estabilidad articular al controlar los deslizamientos laterales de los cóndilos y de transmitir uniformemente el peso corporal a la tibia. Los meniscos disminuyen su grosor de fuera a dentro, el exterior tiene forma de O y el interior de C o *media luna*. La cara superior de estos es cóncava y la inferior plana. Se adhieren a la cápsula articular por su circunferencia externa mientras la interna queda libre. Ambos meniscos quedan unidos entre sí por el ligamento yugal.



Los meniscos están situados entre la tibia y el fémur.

La articulación está envuelta por una cápsula fibrosa que forma un espacio cerrado en el que se alberga la extremidad inferior del fémur, la rótula y la porción superior de la tibia. La cubierta interna de esta cápsula es la membrana sinovial que produce el líquido sinovial. El líquido sinovial baña la articulación, reduce la fricción entre las superficies en contacto durante los movimientos y cumple funciones de nutrición y defensa.

La rodilla está sustentada por varios ligamentos que le dan estabilidad y evitan movimientos excesivos. Los ligamentos que están en el interior de la cápsula articular se llaman intrarticulares o intracapsulares, entre los que se encuentra el ligamento cruzado anterior y el ligamento cruzado posterior. Por otra parte los ligamentos que están por fuera de la cápsula articular se llaman extrarticulares o extracapsulares como el ligamento lateral interno y el ligamento lateral externo.



Ligamentos de la rodilla.

Ligamentos intrarticulares:

- Ligamento cruzado anterior (LCA).
- Ligamento cruzado posterior (LCP).
- Ligamento yugal o ligamento transverso. Une los meniscos por su lado anterior.
- Ligamento meniscofemoral anterior o Ligamento de Humphrey. Del menisco externo al cóndilo interno del fémur.
- Ligamento meniscofemoral posterior o Ligamento de Wrisberg. Del menisco externo al cóndilo interno del fémur, por detrás del meniscofemoral anterior.

Ligamentos extrarticulares:

- Cara anterior
  - Ligamento rotuliano que une la rótula a la tibia.

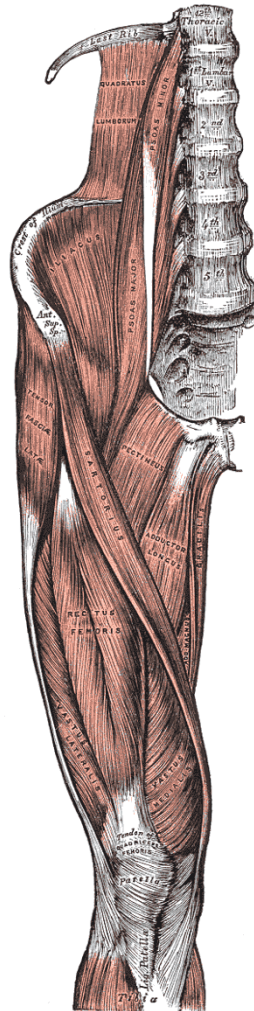
- Cara posterior
  - Ligamento poplíteo oblicuo. Une el cóndilo externo del fémur con el margen de la cabeza de la tibia en la rodilla.
  - Ligamento poplíteo arqueado o tendón recurrente. Une el tendón del músculo semimembranoso al cóndilo externo del fémur.
- Cara interna
  - Ligamento alar rotuliano interno. Une el borde de la rótula al cóndilo interno del fémur.
  - Ligamento menisco rotuliano interno. Une la rótula al menisco interno.
  - Ligamento lateral interno o ligamento colateral tibial.
- Cara externa
  - Ligamento alar rotuliano externo. Une el borde de la rótula al condilo externo del fémur.
  - Ligamento menisco rotuliano externo. Une la rótula al menisco externo.
  - Ligamento lateral externo o ligamento colateral peroneo.

A continuación se expone la lista de los músculos que actúan sobre la rodilla. Hay que tener en cuenta que algunos de ellos intervienen en varios movimientos por lo que se reseñan dos veces, por ejemplo el músculo sartorio que puede contribuir al movimiento de flexión y al de rotación interna.

- Músculos flexores. Se sitúan en la parte posterior del muslo.
  - Isquiotibiales
    - **Bíceps femoral.**
    - **Músculo semimembranoso.**
    - **Músculo semitendinoso.**
  - Accesorios
    - **Músculo poplíteo.** Está situado en la porción posterior de la rodilla, debajo de los **gemelos**.
    - **Músculo sartorio.** Se encuentra en la parte anterior del muslo y lo cruza en diagonal.
- Músculos extensores. Están situados en la parte anterior del muslo.
  - **Cuádriceps.** Está compuesto por cuatro músculos:
    - **Recto femoral**
    - **Vasto medial**
    - **Vasto lateral**
    - **Vasto intermedio**
- Músculos que producen rotación externa
  - **Tensor de la fascia lata**
  - **Bíceps femoral**



- Músculos que producen rotación interna
  - Sartorio
  - Semitendinoso
  - Semimembranoso
  - Recto interno
  - Poplíteo



Vista anterior de los músculos del muslo.

### 5.13.2. FISIOLOGÍA

La función de la cadera dentro de la marcha es muy importante. La cadera está diseñada para proveer movilidad y estabilidad al cuerpo humano. Para una buena estabilidad, la alineación de la columna y las piernas debe ser tal que el centro de gravedad pase por las articulaciones de la pelvis, la cadera, la rodilla y el pie. La actividad muscular de la cadera debe ser capaz de controlar la posición de su articulación durante el ciclo de marcha. La fuerza necesaria para moverse hacia adelante va más allá de la contracción muscular necesaria para controlar las articulaciones de la cadera. En la mayoría de las personas los músculos de la pierna proveen la fuerza que los empuja hacia adelante para dar el próximo paso. Los extensores de la cadera luego los traccionan hacia adelante después de que el pie

toque el suelo.

La rodilla es, esencialmente, una articulación dotada de un solo sentido de libertad de movimiento, la flexión–extensión, pero de manera accesoria posee un segundo sentido de libertad, la rotación sobre el eje longitudinal de la pierna, que solo aparece cuando la rodilla está flexionada. Gracias a esto, la rodilla consigue una amplia libertad de movimientos y una total estabilidad, sobre todo en extensión completa, posición en la que soporta grandes presiones, debidas al peso del cuerpo y a la longitud de los brazos de palanca. La rodilla alcanza una gran movilidad a partir de cierto ángulo de flexión, muy necesaria en la carrera y para orientar óptimamente el pie en relación con las irregularidades del terreno.

### 5.13.3. FACTORES DE RIESGO

Existen diferentes factores de riesgo que pueden causar artrosis en cadera y rodilla. Entre ellos nos encontramos la edad, las enfermedades y cambios congénitos y del desarrollo, la **herencia genética, el sobrepeso, los traumatismos...**

- Edad: La aparición de artrosis aumenta con la edad. Se ha realizado investigación radiológica de la artrosis de diferentes articulaciones, sobre todo de rodilla y de cadera, en diferentes poblaciones, y se ha encontrado que la incidencia varía. La explicación podría radicar en diferencias étnicas o en variaciones de las técnicas de investigación y de los criterios diagnósticos.
- Enfermedades y cambios congénitos y del desarrollo: Los cambios precoces sufridos por la articulación, como las malformaciones congénitas, los causados por infecciones y similares, dan lugar a una progresión más temprana y rápida de la artrosis de cadera. Las piernas en O (genu varum) y las piernas en X (genu valgum) producen una distribución no uniforme de fuerzas sobre la articulación de la rodilla, por ejemplo, que puede tener cierta importancia para el desarrollo de artrosis.
- Herencia: En la artrosis están presentes factores hereditarios. Por ejemplo, la artrosis de cadera es una enfermedad rara en la personas de origen asiático, pero es más frecuente en la raza blanca, lo que sugiere un factor hereditario. La artrosis de tres o más articulaciones se denomina artrosis generalizada y presenta un patrón hereditario. Las vías hereditarias de la artrosis de rodilla no se conocen bien.
- Sobrepeso: El sobrepeso probablemente cause artrosis de rodilla y de cadera. La relación entre sobrepeso y artrosis de rodilla se ha demostrado en grandes estudios epidemiológicos realizados en la población general.
- Traumatismos: Los accidentes o las causas de traumatismos o lesiones, en especial los que interfieren en la mecánica y la circulación de la articulación y sus ligamentos, pueden dar lugar a artrosis precoz.

Estudios experimentales en monos, conejos, perros y ovejas han demostrado que las



fuerzas de compresión sobre una articulación, en especial cuando se mantiene en una posición extrema, con o sin cargas de desplazamiento simultáneas pueden dar lugar a cambios en el cartílago y el hueso similares a los de la artrosis en el ser humano. Por ello, las actividades deportivas pueden aumentar la carga sobre diferentes articulaciones. También aumenta el riesgo de traumatismos. Por otra parte, con la práctica de deporte, se desarrolla una buena función y coordinación musculares. Se dispone de pocos datos sobre si la participación en deportes previene los traumatismos o es perjudicial para las articulaciones. Algunos estudios (Vingård y cols. 1993) realizados en jugadores de fútbol han demostrado que tanto los profesionales como los aficionados presentan más artrosis de cadera y rodilla que la población masculina general. Los más perjudiciales parecían ser los deportes en pista y campo, los de raqueta y el fútbol.

La etiología de la artrosis de la rodilla y la cadera es, como en todas las enfermedades, compleja y multifactorial. Estudios recientes bien realizados han demostrado que la carga física sobre la articulación provocada por exposiciones laborales desempeñará un papel como causa contribuyente al desarrollo de una artrosis prematura. Se ha observado que, los agricultores, los trabajadores de la construcción, procesadores de alimentos (trabajadores en molinos de grano, carniceros y preparadores de carne), bomberos, carteros, trabajadores de astilleros y bailarines profesionales de ballet presentan un mayor riesgo de artrosis de cadera. Es importante tener en cuenta que una denominación profesional no describe adecuadamente por sí sola el estrés ejercido sobre una articulación, ya que el mismo tipo de trabajo puede significar cargas diferentes para distintos trabajadores. Además, la carga que interesa en un estudio es la presión exacta ejercida sobre una articulación. Los varones muy expuestos a cargas físicas debido a sus ocupaciones hasta los 49 años de edad presentaban un riesgo mayor del doble de padecer artrosis de cadera que aquellos con exposición baja. Tanto las exposiciones dinámicas, como el levantamiento de grandes pesos, como la exposición estática, en forma de permanencia prolongada en posición sentada y girada, parecieron ser igualmente perjudiciales para la articulación. Se ha observado que el riesgo de artrosis de rodilla está aumentado en los mineros del carbón, estibadores, trabajadores de astilleros, soldadores e instaladores de moquetas y otros trabajadores de la construcción, bomberos, agricultores y limpiadores. Las exigencias físicas de moderadas a intensas en el trabajo, la flexión las rodillas y las lesiones traumáticas aumentan el riesgo. Hay quien sugiere (Wickström y cols. 1983) que el trabajo arrodillado aumenta el riesgo de padecer trastornos de rodilla, y que los cambios radiográficos observados podrían ser un signo inicial de degeneración de la rodilla. En un estudio (Anderson 1988) realizado en Estados Unidos se observó que el 32 % de las artrosis de rodilla que se producían en los trabajadores eran atribuibles al tipo de trabajo. En un estudio en Framingham (Estados Unidos) se observó que el riesgo de desarrollar artrosis de rodilla era doble en las personas que flexionaban mucho las rodillas y soportaban unas demandas físicas al menos medias en su trabajo. En un estudio



realizado en California se evaluaron los papeles de la actividad física, la obesidad y las lesiones de rodillas en el desarrollo de artrosis grave de rodilla (Kohatsu y Schurman 1990). En el estudio se analizaron 46 personas con gonartrosis y 46 personas sanas de la misma comunidad. Las personas con artrosis tenían una probabilidad dos o tres veces mayor que los controles de haber realizado un trabajo moderado o pesado en etapas anteriores de su vida, y una probabilidad 3,5 veces mayor de haber sido obesos a los 20 años de edad. Presentaban también una probabilidad cinco veces mayor de haber padecido una lesión de rodilla. No se observaron diferencias en las actividades de tiempo libre en los dos grupos. En un estudio sueco (Vingård y cols. 1991) se concluyó que entre los varones, los bomberos, agricultores y trabajadores de la construcción presentaron un riesgo relativamente elevado de desarrollar artrosis de rodilla. Entre las mujeres, se observó que el mayor riesgo lo presentaban las limpiadoras.

#### 5.13.4. PATOLOGÍA

La articulación de la cadera es una enartrosis rodeada de ligamentos, músculos potentes y bolsas. La articulación soporta peso y posee una elevada estabilidad intrínseca junto con una gran amplitud de movimiento. En las personas jóvenes, el dolor en la región de la cadera se suele originar en los músculos, las inserciones tendinosas o las bolsas, mientras que en las personas de más edad el principal trastorno causante de dolor de cadera es la artrosis.

La rodilla es una articulación de carga de gran importancia para caminar, mantenerse en pie, doblarse, encorvarse y acuclillarse. La rodilla es bastante inestable, y depende para el apoyo de ligamentos y músculos potentes.

Todas estas estructuras se lesionan fácilmente por traumatismos o por el uso excesivo, y el tratamiento médico por dolor de rodilla es bastante frecuente. La artrosis de la rodilla es un trastorno común en los ancianos, que causa dolor y discapacidad. En las personas jóvenes son bastante frecuentes la bursitis rotuliana y los síndromes de dolor femororrotuliano como el pesanserinus doloroso.

##### Artrosis:

La artrosis es un trastorno articular degenerativo frecuente, en el cual el cartilago resulta más o menos destruido y la estructura del hueso subyacente está afectada. En ocasiones se acompaña de pocos síntomas, pero por lo general se produce dolor, cambios en la capacidad de trabajo y una menor calidad de vida. Es posible observar cambios articulares en las radiografías, y la persona que la padece suele acudir al médico por dolor, presente incluso en reposo, y disminución de la amplitud de movimiento. En los casos graves, la articulación puede quedar totalmente rígida, e incluso destruida. En la actualidad está bien desarrollado el tratamiento quirúrgico para sustituir la articulación destruida por una

prótesis.

El estudio de las causas de la artrosis de cadera es difícil. El comienzo del trastorno suele ser difícil de determinar, y el desarrollo es por lo general lento e insidioso, es decir, la persona que sufre este trastorno, no sabe necesariamente que está ocurriendo.

La investigación epidemiológica trata de identificar asociaciones entre exposiciones como la carga física y consecuencias como la artrosis. Cuando se combinan con otros conocimientos, es posible encontrar asociaciones que podrían considerarse causales, aunque la cadena causa-efecto es complicada. La artrosis es frecuente en todas las poblaciones, y es preciso recordar que el proceso se da en personas sin exposiciones de riesgo conocidas, mientras que existen sujetos sanos en el grupo sometido a exposiciones de mucho riesgo y bien conocidas. Algunos de los contribuyentes a esta situación pueden ser las vías desconocidas entre la exposición y el trastorno, los factores sanitarios desconocidos, los factores genéticos y las fuerzas de selección.

### Artritis

La inflamación aguda de la rodilla o artritis puede ser el resultado de varias enfermedades como la artritis reumatoide, la gota o procesos infecciosos.

Los procesos infecciosos que afectan a la articulación son poco frecuentes, pero pueden tener consecuencias graves. Requieren tratamiento inmediato con un antibiótico. En las personas a las que se les ha colocado una prótesis de rodilla, puede producirse infección de la prótesis, esta eventualidad supone una grave complicación de la intervención.

### Lesiones de ligamentos y meniscos

Son muy frecuentes en deportes como **lucha, baloncesto, natación, rugby, fútbol, fútbol americano, esquí, voleibol, hockey** y otros que implican gran tensión de la articulación. Las estructuras que más frecuentemente se afectan son los meniscos, ligamentos laterales y ligamentos cruzados. En ocasiones se producen lesiones combinadas, como en la llamada triada de O'Donoghue o triada desgraciada que está constituida por la rotura o desgarro del ligamento cruzado anterior, el ligamento lateral interno y el menisco medial.

Antes de la llegada de la **artroscopia**, la cirugía artroscópica y la **resonancia magnética nuclear**, el diagnóstico era más difícil y las intervenciones quirúrgicas que se realizaban para el tratamiento de estas lesiones tenían una recuperación más lenta. Con las técnicas actuales, estos pacientes se recuperan con más rapidez y pueden practicar algún deporte en unos pocos meses si no surgen complicaciones.

Además del desarrollo de nuevos procedimientos quirúrgicos, la investigación actual está buscando determinar cuáles son los factores subyacentes que pueden aumentar la probabilidad de que un atleta sufra una lesión de rodilla grave. Estos descubrimientos

podrán permitir en el futuro encontrar medidas preventivas efectivas.

### Rotura de menisco

El menisco se lesiona generalmente por un mecanismo de rotación, cuando la rodilla se encuentra en situación de semiflexión y con el pie apoyado. En estas circunstancias, al producirse la rotación, el cóndilo del fémur presiona directamente con el menisco y este se rompe o fisura. Esta lesión afecta con mucha mayor frecuencia al menisco interno o medial que al externo. Las roturas pueden revestir diferente gravedad y se dividen en horizontales, verticales, transversales u oblicuas y mixtas. El diagnóstico se basa en la presencia de síntomas característicos, signos clínicos y la realización de resonancia magnética y artroscopia que puede ser al mismo tiempo diagnóstica y terapéutica.

### Rotura de ligamento lateral interno

El ligamento lateral interno proporciona estabilidad a la región interna de la rodilla y suele lesionarse por una tensión excesiva en posición de valgo, es decir por desviación de la pierna hacia fuera. Con frecuencia su rotura se asocia a lesión del menisco interno.

Pueden existir diferentes grados de afectación que van desde distensión leve a rotura completa. Frecuentemente la rotura completa causa poco dolor, pero durante la exploración el médico detecta hiperlaxitud de la articulación.

### Rotura de ligamento lateral externo

Las lesiones del ligamento lateral externo pueden consistir en distensión o rotura y suelen producirse por una combinación de hiperextensión de la rodilla y una presión que fuerza a una desviación en varo de la articulación. Se producen por un traumatismo sobre la parte interna de la rodilla que a veces se asocia a un mecanismo de rotación.

Esta lesión es mucho menos frecuente que la del ligamento lateral interno, pero produce mayor grado de incapacidad, las fuerzas necesarias para romper este ligamento son superiores a las necesarias para la ruptura del ligamento lateral interno.

### Rotura de ligamentos cruzados

La rotura del ligamento cruzado anterior es una lesión frecuente que puede producirse durante la actividad deportiva por giros enérgicos de la rodilla en los que el pie permanece en fuerte contacto con el suelo. El mecanismo de lesión suele asociarse a semiflexión, valgo y rotación externa de la articulación de la rodilla. En el momento en que se sufre esta lesión suele sentirse dolor intenso y una sensación de chasquido. El ligamento cruzado anterior sirve en condiciones normales de freno para un movimiento anterior excesivo de la tibia con respecto al fémur, el médico puede realizarse pruebas exploratorias como la *Prueba del cajón* y la *Prueba de Lachman* que si son positivas hace

probable este diagnóstico que se confirma mediante técnicas de resonancia magnética o artroscopia.

El ligamento cruzado posterior impide que la tibia se desplace hacia atrás en relación con el fémur. Se lesiona con menor frecuencia que el ligamento cruzado anterior. El mecanismo de rotura suele consistir en un impacto directo sobre la parte anterior de la rodilla cuando esta se encuentra en situación de flexión. Es frecuente que esta lesión se asocie a rotura de menisco.

### Lesiones tendinosas

Los tendones que se afectan con más frecuencia son:

- El tendón del cuádriceps. Puede romperse total o parcialmente durante la actividad deportiva, generalmente cuando la rodilla esta en flexión y sometida a fuerte sobrecarga. Esta lesión produce dolor agudo en la cara anterior de la articulación e incapacidad para los movimientos de extensión.
- El tendón rotuliano o ligamento rotuliano que es la continuación del anterior. Las rupturas del tendón rotuliano ocurren generalmente en personas menores de cuarenta años y si no se reparan con cirugía ocasionan retracción y atrofia del cuádriceps. También puede afectarse por tendinitis, proceso que se conoce como *Rodilla del saltador*, por ser frecuente en esta actividad atlética.
- El tendón de la pata de ganso. Está formado por la unión de los tendones del músculo semitendinoso, sartorio y recto interno del muslo, también llamado músculo grácil. Se inserta en la cara interna y superior de la tibia. La tendinitis de la pata de ganso o anserina produce dolor en la región interna de la rodilla principalmente al realizar movimientos de extensión.
- El tendón del músculo poplíteo. La tendinitis poplíteica causa dolor en la parte posterior y externa de la rodilla que aumenta cuando se corre cuesta abajo.

### Fracturas

Las fracturas de la región de la rodilla pueden afectar a la porción inferior del fémur, la superior de la tibia o la rótula. Con frecuencia son fracturas complejas que afectan a varios huesos y a los meniscos o ligamentos. Generalmente están causadas por un gran impacto, como ocurre en los accidentes de tráfico. En la mayoría de los casos deben ser tratados quirúrgicamente por osteosíntesis, por lo general con el uso de piezas de acero o de placas y tornillos de titanio. A menudo también se requiere reconstruir la superficie articular con materiales óseos o de cerámica. Las fracturas puras pueden ser fijadas solo con tornillos.

Las fracturas de la extremidad inferior del fémur pueden ser supracondileas, si se producen por encima de los cóndilos o bien afectar al cóndilo externo, al interno o a

ambos. Las de la extremidad superior de la tibia pueden afectar a la meseta tibial externa, a la interna o a ambas.

Las fracturas de rótula son infrecuentes y suelen ocurrir por caídas con impacto directo sobre este hueso. Pueden ser longitudinales, transversales o compuestas. Tienden a dejar fragmentos que pueden causar limitación en la movilidad de la articulación.

### Luxaciones

Una luxación es toda lesión que causa pérdida permanente del contacto de las superficies articulares. Puede ser total (luxación) o parcial (subluxación). En la rodilla, las luxaciones pueden afectar a la rótula o a la articulación femorotibial.

- **Luxación de rótula:** La luxación de la rótula es una lesión que suele estar causada por un traumatismo directo sobre la cara anterior de la rodilla. Generalmente se producen desplazamientos laterales de la rótula que cambia su posición habitual sin romperse, lo que ocasionan un cuadro doloroso con dificultad para el transporte de cargas y disminución de la capacidad de movimiento de la articulación. Es una lesión recidivante que puede repetirse periódicamente.
- **Luxación tibiofemoral:** La luxación de la articulación tibiofemoral de la rodilla es una grave complicación que ocurre tras traumatismos severos como atropellos o accidentes de tráfico. Se asocia a lesiones de los músculos, cápsula articular, tendones, arteria poplítea y vena poplítea, por lo que constituyen una situación de emergencia que puede poner en peligro la viabilidad del miembro afectado.

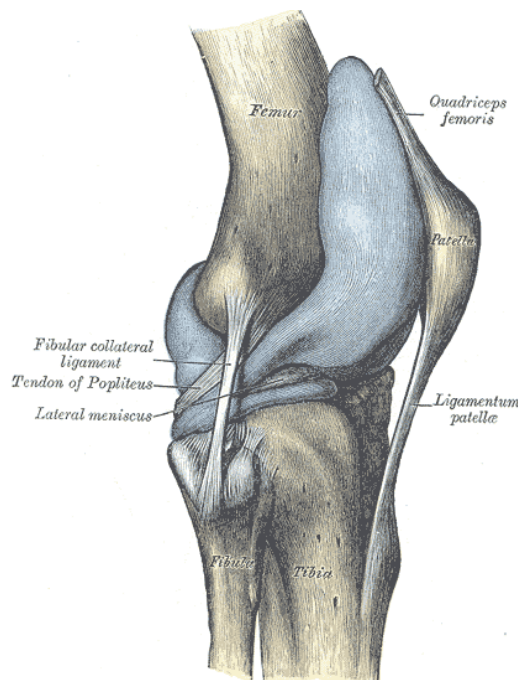
## 5.14. PIERNA, TOBILLO Y PIE

### 5.14.1. ANATOMÍA

En anatomía humana, la pierna es el tercer segmento del miembro inferior o pelviano, comprendida entre el muslo y el pie. La pierna se articula con el muslo mediante la rodilla, y con el pie mediante el tobillo.

Los huesos de la pierna son:

Rótula: Es un hueso de la pierna, que se encuentra en número par y es un hueso constante. Es corto, esponjoso en forma de triángulo curvilíneo con dos caras, anterior y posterior, una base, un vértice y dos bordes laterales. Se encuentra en la parte anterior de la rodilla y se articula con los cóndilos del fémur. La rótula es un hueso plano y redondeado que se encuentra incluido en el tendón terminal del músculo cuádriceps femoral y está situado por delante de la extremidad inferior del fémur.



Rótula, vista lateral.

- Tibia: La tibia es un hueso largo que soporta el peso del cuerpo. El extremo que se articula con el fémur es ancho y tiene los cóndilos medial y lateral o superficies glenoideas que se articulan con los cóndilos del fémur. Tiene una cara superior plana que se compone de los dos cóndilos y de una eminencia entre los cóndilos nombrada *eminencia intercóndila*. Esta eminencia encaja en la fosa intercondílea del fémur como una pieza de rompecabezas, su cóndilo lateral se articula con el peroné, por medio de la carilla articular peroneal.

La tibia se encuentra en la parte anterior e interna de la pierna, paralela y a un lado del peroné. Se articula con el fémur por arriba. Con el astrágalo por abajo y con el peroné por fuera y arriba.

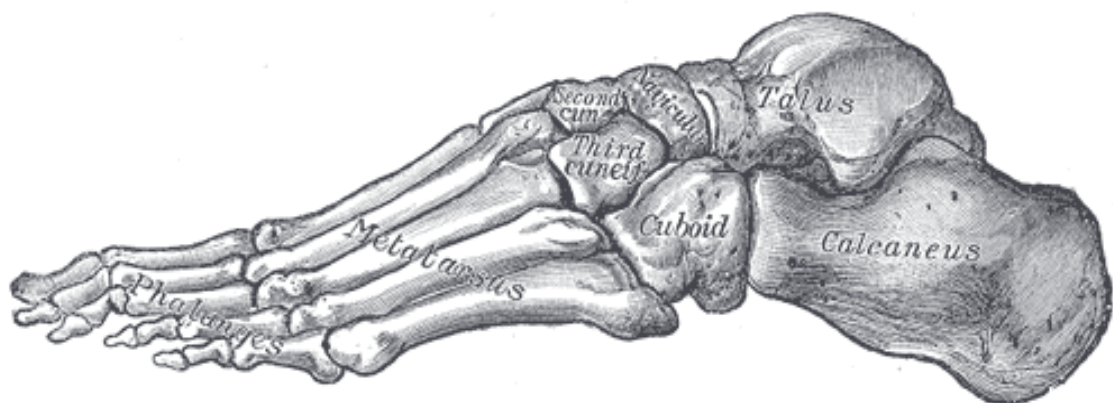
- Peroné: Es un hueso de la pierna, largo, par, asimétrico, formado por un cuerpo prismático triangular, con tres caras, externa, interna y posterior; tres bordes, anterior y laterales, y dos extremos, superior o cabeza en donde destaca la apófisis estiloides e inferior o maléolo externo.

Se encuentra en la parte externa de la pierna. Se articula por dentro con la tibia mediante una articulación diartrosis del tipo artrodias, formando junto con la tibia la pinza tibioperonea, y por abajo con el astrágalo, formando la articulación tibioperoneoastragalina.

- Tarso: Parte posterior del pie situada entre los huesos de la pierna y los metatarsianos. Comprende siete huesos, llamados en conjunto tarsianos, dispuestos en dos hileras, astrágalo y calcáneo en la primera, y escafoides, cuboides y las tres cuñas, en la segunda. Comprenden una parte del pie, dando así seguimiento a las partes externas de él.
- Metatarso: El metatarso se compone de cinco huesos metatarsianos, que se enumeran desde la cara medial del pie. Los metatarsianos son unos huesos largos formados por un cuerpo prismático triangular con tres caras, superior y laterales, y dos extremos, anterior y posterior, este último con cinco caras, de las cuales tres son articulares, excepto el 1 y el 5, que sólo tienen dos.

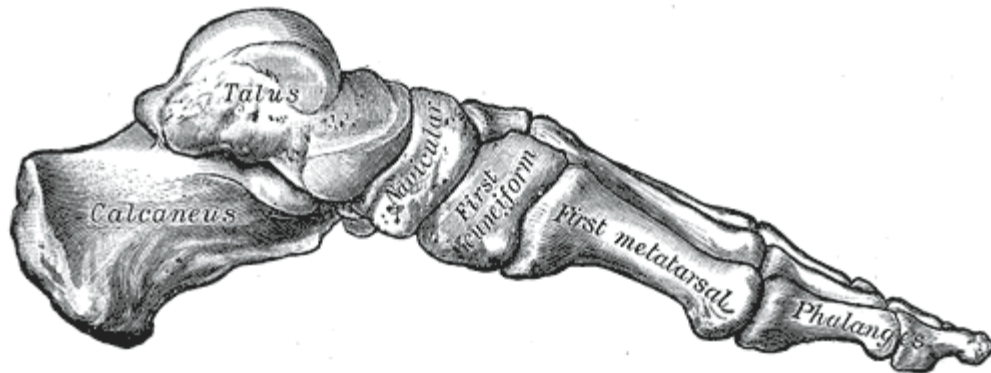
El primer metatarsiano es más corto y duro que los demás. El segundo es el más largo. Cada metatarsiano posee una base proximal, un cuerpo y una cabeza distal. La base de cada metatarsiano es el extremo proximal de mayor tamaño. Sus bases se articulan con la cuña y el cuboides, y las cabezas, con las falanges del pie proximales.

Se articulan por el extremo posterior unos con otros y con los huesos de la segunda fila del tarso: el 1 con la 1ª cuña; el 2 con la 2ª cuña; el 3 con la 3ª cuña, y el 4 y 5 con el cuboides. Por el extremo anterior se articulan con las falanges de los dedos.



Huesos del pie, vista lateral.

- Falanges: Las falanges del pie son huesos largos, en número de tres para cada dedo, excepto el gordo, que tiene sólo dos. Denominados 1, 2 y 3 o *falange proximal*, *falange media* y *falange distal* respectivamente. Constan de un cuerpo y dos extremos, anterior y posterior, articulares ambos en 1 y 2, y sólo el posterior en el 3. Se articulan el 1 con los metatarsianos respectivos, el 2 con los 1 y 3 y estos, con el 2.



Falanges del pie.

- Fémur: Es el **hueso** del **muslo**, el segundo segmento del **miembro inferior**. Es el hueso más largo, fuerte y voluminoso del cuerpo humano. Se encuentra debajo del glúteo y por detrás del cuádriceps.

De la clase de los **huesos largos**, es par y asimétrico. Presenta una ligera curvatura de concavidad posterior, y en el **esqueleto** se dispone inclinado hacia abajo y adentro.

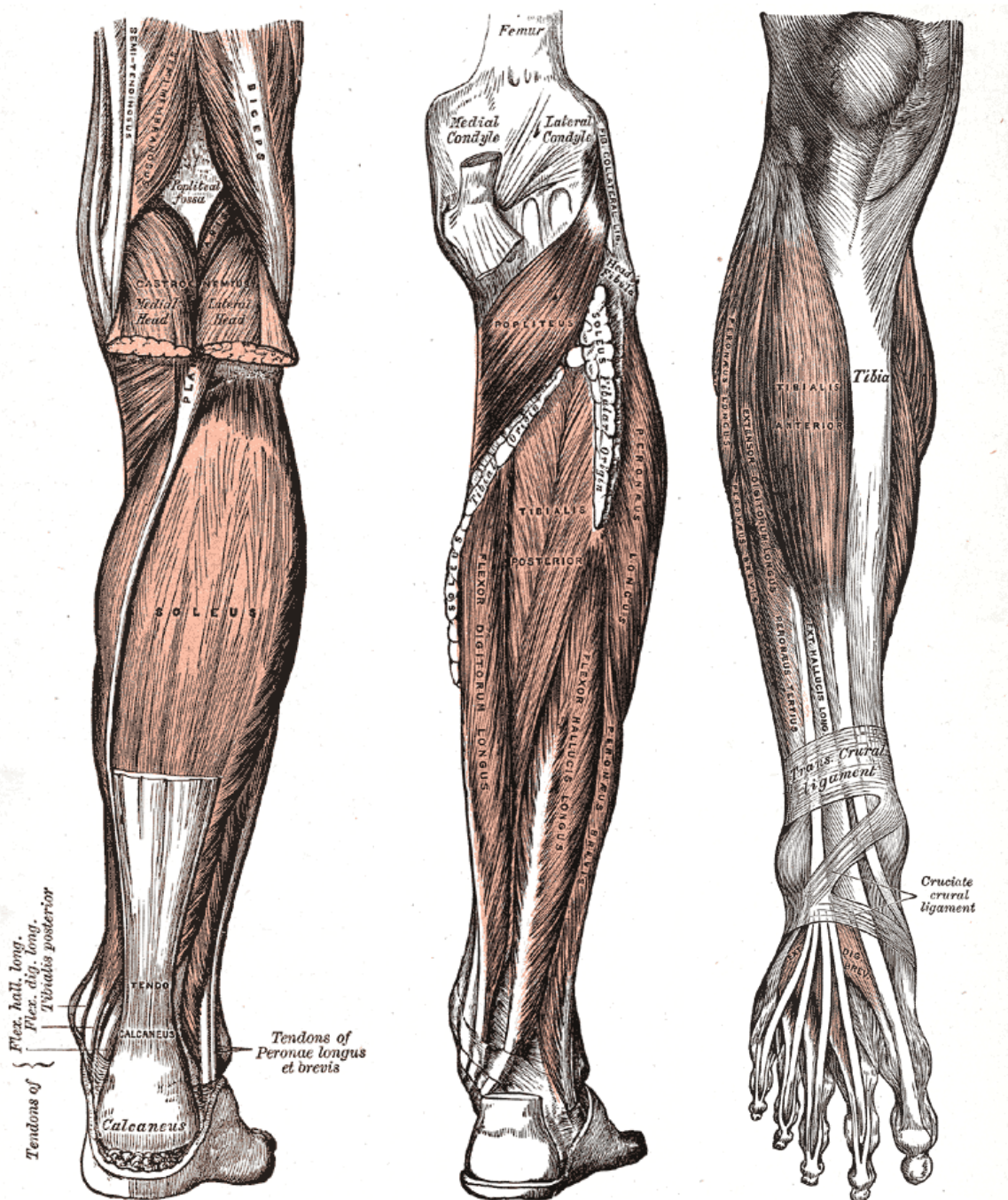
Además, en el fémur se observa una ligera torsión, el eje del cuello femoral no está en el mismo plano que el eje transversal de los cóndilos, sino que configuran un **ángulo** agudo de declinación, abierto hacia dentro y adelante.

Los músculos de la pierna son:

- Grupo muscular anterior:
  - Tibial anterior
  - Extensor largo del dedo gordo
  - Extensor común de los dedos
  - Fibular anterior
- Grupo muscular externo:
  - Fibular lateral largo
  - Fibular lateral corto
- Grupo muscular posterior:
  - Poplíteo
  - Flexor largo común de los dedos
  - Tibial posterior
  - Tríceps sural: gemelo interno, gemelo externo, sóleo. El tríceps sural se inserta en el calcáneo mediante el tendón de Aquiles.



o Plantar delgado



Músculos flexores superficiales, profundos y músculos extensores de la pierna.

En anatomía, el pie es una estructura biológica utilizada para la locomoción que se encuentra en muchos animales.

El ser humano usa sus pies para la locomoción bípeda. Las estructuras del pie y la mano humanas son variaciones en la anatomía de los mismos cinco dígitos, en común con muchos otros vertebrados, y una de las dos estructuras de huesos más complejas del cuerpo.

El pie está dividido en tres partes:

- Tarso, con siete huesos.
- Metatarso, con cinco huesos.
- Falanges, con catorce huesos.

La parte superior o dorsal del pie se llama *empeine* y la inferior *planta*. El pie se mueve sobre la pierna con el auxilio de músculos extensores y flexores. Los primeros, que constituyen la pantorrilla, se implantan en la extremidad posterior del calcáneo por medio del tendón de Aquiles. Los segundos, están situados delante de la pierna. Existen además músculos elevadores que hacen girar el pie hacia fuera o dentro.

En anatomía humana, el tobillo es la articulación donde se unen el pie y la pierna. Está constituido por tres huesos: el peroné, la tibia y el astrágalo. El calcáneo y el escafoides, aunque no forman parte del tobillo, mandan ligamentos importantes a éste.

Los ligamentos más importantes, ya que son los que le proporcionan estabilidad a la articulación, son:

- Ligamento deltoideo: une el astrágalo y el calcáneo con la tibia y se encuentra al lado interno del tobillo
- Ligamentos laterales: son tres fascículos diferentes, que unen el astrágalo y el calcáneo con el peroné. Están en el lado externo.
- Ligamentos de la sindesmosis: son los que mantienen unido la tibia y el peroné.

#### 5.14.2. FISIOLÓGIA

El pie es una estructura perfectamente diseñada con un complejo y elevado componente de fuerza, flexibilidad y movimiento coordinado. Transmite las tensiones por todo el cuerpo cuando se camina, corre y salta. El pie en su conjunto es la zona anatómica que más ha debido evolucionar para la adquisición de la locomoción bípeda humana. A nivel general, el pie le sirve al hombre para sostenerse y andar.

El pie no sólo se limita a soportar el peso en posición vertical. Su vascularización y su inervación le permiten un papel fisiológico importante, y su estructura osteomuscular posibilita su adaptación a cualquier situación de equilibrio, sea estática o dinámica. Este es un órgano funcional dinámico.

Las funciones estáticas del pie humano son únicas, pues sólo el hombre se mantiene erguido. En la estación bípeda, la mayor parte del peso del cuerpo se transmite directamente del astrágalo al calcáneo. Cierta cantidad de presión pasa en sentido lateral del astrágalo al cuboides y al quinto metatarsiano; una porción menor de carga se desvía a través de la cabeza del astrágalo a la cara interna del pie, y por los huesos escafoides y cuneiformes al primer metatarsiano. Se ha demostrado que, estando en pie, las cabezas



del metatarsiano segundo, tercero y cuarto reciben parte del peso del cuerpo. Sin embargo, la presión aplicada sobre los metatarsianos primero y quinto es normalmente mayor que la actuante sobre las cabezas de los restantes metatarsianos. Los dedos del pie soportan una pequeña parte del peso en la bipedestación, y también contribuyen a adaptar el pie a la superficie de marcha.

La parte posterior del pie soporta la fracción mayor del peso del cuerpo y es la más estable, el escaso movimiento lateral a que está sujeta se produce en la articulación astrágalo-calcánea o subastragalina. La parte externa del pie, que recibe parte del peso transmitido, en un sólido arco óseo aplanado, muy resistente y estable. El primer hueso metatarsiano es relativamente mayor que los otros, lo cual prueba que está más solicitado en el aspecto funcional. Sin carga, las cabezas de los metatarsianos forman un arco transversal, al aplicar peso, este arco queda prácticamente suprimido. Su misión es ajustar el pie a diversos tipos de superficies de marcha, aumentando así su estabilidad. La obliteración del arco transversal lleva consigo un aumento de la anchura del pie. Normalmente, con carga se aplanan el arco longitudinal y aumenta algo la longitud del pie. Este arco sirve de soporte y al mismo tiempo da más flexibilidad al pie.

El índice del arco varía normalmente. Sin embargo, una alteración extremada de este factor sería signo de anormalidad y disfunción. Del mismo modo, si aumenta mucho la diferencia entre el índice del pie cargado y el pie sin carga, ello indica debilidad de estructura y deficiencia funcional.

La función del pie depende no sólo de los elementos óseos y ligamentosos, sino también de la coordinación de los músculos y del sistema nervioso. La estática del pie se basa en el soporte del esqueleto óseo y también de los ligamentos. El modo de transmitirse peso a través del pie depende de la relación mutua entre los huesos, en la cual intervienen los músculos del pie y de la pierna. Una alteración en los músculos hará variar las funciones sustentadoras del pie, tal alteración puede afectar a los propios músculos o a los nervios que los rigen. La lesión de un nervio periférico o de una raíz nerviosa, e incluso de los centros superiores del sistema nervioso, puede ser causa de desequilibrio muscular y provocar una alteración estática del pie.

Según Goldcher (1992), la función dinámica del pie nos hace ver que está bien adaptado para el movimiento que implica mecanismos complejos. Y así, podemos referenciar cuatro grandes funciones:

- Función motórica activa, permitiendo la propulsión, en particular en el andar, correr, subir, empuje para saltar y la recepción.
- Función de equilibrio en el movimiento, asegurando una excelente adaptación al terreno.
- Función amortiguadora de las presiones, sobre la huella plantar en cada paso y en

las recepciones.

- Función técnica especializada, como el golpeo del balón en el fútbol, aleteo en la natación, puntas en el ballet...

### 5.14.3. FACTORES DE RIESGO

En general, el dolor es el síntoma principal en los trastornos de la pierna, el tobillo y el pie. A menudo sigue al ejercicio y puede ser agravado por éste. Son problemas frecuentes en estos trastornos la debilidad muscular, el déficit neurológico, los problemas para la adaptación del calzado, la inestabilidad o rigidez de las articulaciones y las dificultades para caminar.

Las causas de los problemas suelen ser multifactoriales, aunque casi siempre proceden de factores biomecánicos, infecciones y/o enfermedades sistémicas. Las deformidades del pie, la rodilla o la pierna, los cambios óseos y/o de los tejidos blandos que siguen a una lesión, la tensión excesiva como las producidas por el uso repetitivo, la inestabilidad o la rigidez y el calzado inadecuado son causas habituales de estos síntomas. Pueden producirse infecciones óseas o de tejidos blandos. La diabetes, las enfermedades reumáticas, la psoriasis, la gota y los trastornos de la circulación sanguínea a menudo producen estos síntomas en la extremidad inferior.

Además de la historia, siempre es necesaria una exploración clínica adecuada. Se examinarán cuidadosamente las posibles deformidades y alteraciones de la función, la circulación sanguínea y la situación neurológica. También puede estar indicado el análisis de la marcha. Los estudios mediante radiografías simples, TC, RM, ecografía, ENMG, imágenes vasculares y pruebas sanguíneas pueden contribuir al diagnóstico anatomopatológico y etiológico, así como al tratamiento.

El tratamiento irá dirigido siempre a la eliminación de la causa. Excepto en los traumatismos, el tratamiento principal suele ser conservador. Si es posible, se corregirán las deformidades mediante el calzado y/o las ortosis adecuadas. A menudo resulta beneficioso el consejo ergonómico adecuado, incluida la corrección de la mala forma de caminar o de correr. Pueden estar indicadas la disminución de la carga excesiva, la fisioterapia, los antiinflamatorios y, en raros casos, una corta inmovilización, así como el rediseño del trabajo.

También puede estar indicada la cirugía en algunos traumatismos agudos, sobre todo para algunos síntomas persistentes que no han mejorado con el tratamiento conservador, aunque es necesaria la valoración médica específica en cada caso.

#### Tendinitis del tendón de Aquiles

Son factores predisponentes el calzado inadecuado, la mala alineación y las deformidades

del pie, la debilidad o rigidez de los músculos de la pantorrilla, la carrera sobre superficies duras o irregulares y el entrenamiento intensivo. Ocasionalmente se produce tendinitis del tendón de Aquiles en algunas enfermedades reumáticas, después de fracturas de la pierna o el pie, en algunas enfermedades metabólicas y después de un trasplante renal.

La tendinitis del tendón de Aquiles es más frecuente en los varones. Los síntomas son más habituales en los deportes recreativos que en las competiciones profesionales. Los deportes de carrera y salto en especial son los más proclives a causar tendinitis del tendón de Aquiles.

El calzado adecuado en caso de mala alineación, los dispositivos de ortosis y el consejo sobre un correcto entrenamiento biomecánico pueden prevenir el desarrollo de la tendinitis del tendón de Aquiles. En presencia de síntomas a menudo tiene éxito el tratamiento conservador: evitar el entrenamiento excesivo, utilizar calzado adecuado que eleve el talón y amortigüe los choques, fisioterapia, antiinflamatorios, estiramiento y fortalecimiento de los músculos de la pantorrilla.

### Bursitis calcánea

La causa de este trastorno es en la mayor parte de los casos un calzado inadecuado con un talón estrecho o duro. En los deportistas, la carga excesiva de la región del talón, como ocurre durante la carrera, puede provocar una tendinitis del tendón de Aquiles y una bursitis retrocalcánea. La deformidad de la parte posterior del pie es un factor predisponente. No suele haber infección.

### Síndrome del túnel del tarso

Es un dolor de tipo punzante a lo largo de la planta del pie y de todos los dedos, que puede ser debido a la compresión del nervio tibial posterior en el interior del túnel fibroóseo situado bajo el retináculo flexor del tobillo. La compresión del nervio puede ser debida a muchos factores, siendo las causas más comunes las irregularidades óseas, las fracturas y luxaciones de tobillo, la presencia de ganglios o tumores locales o el empleo de calzado inadecuado.

### Síndromes compartimentales de la extremidad inferior

Un síndrome compartimental es el resultado de una presión elevada mantenida en un espacio muscular intraaponeurótico cerrado. La elevada presión intracompartimental suele ser debida a traumatismos (lesiones por aplastamiento, fracturas y luxaciones), aunque también puede ser consecuencia de uso excesivo, de tumores y de infecciones. Un enyesado apretado puede ocasionar un síndrome compartimental, al igual que la diabetes y los trastornos de los vasos sanguíneos. Los primeros síntomas son tumefacción con tensión, dolor y restricción de la función, que no se alivian al elevar, inmovilizar o tratar la

pierna con los fármacos habituales. Posteriormente habrá parestesias, entumecimiento y paresias. En las personas en edad de crecimiento, un síndrome compartimental puede ocasionar trastornos del crecimiento y deformidades en la región afectada.

#### Tenosinovitis de la región del pie y el tobillo

De los numerosos síntomas del pie, el dolor secundario a tenosinovitis es bastante frecuente, sobre todo en la región del tobillo y en el arco longitudinal. Las causas de la sinovitis pueden ser deformidades del pie, como el planovalgo, estrés excesivo, ajuste inadecuado del calzado, o secuelas de fracturas y otros traumatismos, trastornos reumatológicos, diabetes, psoriasis y gota. La sinovitis puede aparecer en muchos tendones, aunque el más frecuentemente afectado es el tendón de Aquiles. Sólo en raras ocasiones la tendinitis implica infección.

#### Hallux valgus

El hallux valgus es una desviación extrema de la primera articulación del dedo gordo del pie hacia la línea media. A menudo se asocia a otros trastornos del pie: varo del primer metatarsiano, pie plano, pie planotransverso o planovalgo. El hallux valgus puede aparecer a cualquier edad, y se observa más a menudo en las mujeres. El proceso es casi siempre familiar, y a menudo se debe a la utilización de calzado inadecuado, por ejemplo, con tacones altos y punta estrecha.

#### Fascitis plantar

El paciente nota dolor debajo del talón, sobre todo después de caminar o permanecer de pie mucho tiempo. El dolor se irradia a menudo a la planta del pie. La fascitis plantar puede aparecer a cualquier edad, pero su frecuencia máxima se da en personas de edad mediana y, a menudo, obesas. También es un trastorno bastante frecuente en los aficionados a practicar deporte. A menudo el pie presenta un arco longitudinal aplanado. Las causas de la fascitis plantar no siempre están claras. Una infección, en particular la gonorrea, la artritis reumatoide y la gota, puede causar los síntomas. La mayor parte de las veces no existen enfermedades específicas relacionadas con el proceso. La principal causa de la hiperestesia puede ser el aumento de presión y la tensión de la aponeurosis.

#### 5.14.4. PATOLOGÍA

##### Tendinitis del tendón de Aquiles

El trastorno suele ser debido a un uso excesivo del tendón de Aquiles, que es el tendón más fuerte del cuerpo humano y se encuentra en la pierna/tobillo. El tendón está expuesto a una carga excesiva, sobre todo en los deportes, lo que da lugar a cambios anatomopatológicos inflamatorios y degenerativos del tendón y de los tejidos circundantes, bolsas y paratendon. En los casos graves puede producirse una rotura completa.

El dolor y la tumefacción en la región del tendón del calcáneo, el tendón de Aquiles, son síntomas bastante frecuentes, sobre todo en los deportistas. El dolor está localizado en el tendón o en su unión al calcáneo.

El tendón está hiperestésico, a menudo nodular, con tumefacción, y es fibrótico. También puede haber microrrupturas. La exploración clínica se puede apoyar sobre todo en la RM y la ecografía. Ambas son superiores a la TC para la visualización de la región y de la calidad de los cambios en los tejidos blandos.

##### Bursitis calcánea

El dolor detrás del talón, que por lo general se agrava al caminar, casi siempre está causado por una bursitis calcánea, a menudo asociada a una tendinitis del tendón de Aquiles. El trastorno se puede encontrar en ambos talones y aparecer a cualquier edad. En los niños, la bursitis calcánea a menudo se combina con una exostosis o una osteocondritis del calcáneo.

A la exploración, el talón hiperestésico está engrosado y la piel puede estar roja. A menudo existe una curvatura hacia dentro de la parte posterior del pie. Las radiografías son importantes, en especial para el diagnóstico diferencial, y pueden revelar cambios en el calcáneo. En casi todos los casos la historia y la exploración clínica se apoyarán en una RM o una ecografía. Una bursografía retrocalcánea proporcionará más datos en los casos crónicos.

Los síntomas pueden desaparecer sin tratamiento. En los casos leves suele tener éxito el tratamiento conservador. Se protegerá el talón doloroso con vendas y con calzado adecuado de talones blandos. Puede resultar útil una ortosis para corregir la mala posición de la parte posterior del pie. A menudo resulta eficaz la corrección del comportamiento durante la marcha y la carrera.

La escisión quirúrgica de la bolsa y de la parte impactada del calcáneo sólo está indicada cuando ha fracasado el tratamiento conservador.

### Síndrome del túnel del tarso

Todos los síntomas del síndrome del túnel del tarso son un dolor de tipo punzante a lo largo de la planta del pie y de todos los dedos, que puede ser debido a la compresión del nervio tibial posterior en el interior del túnel fibroóseo situado bajo el retináculo flexor del tobillo.

Puede haber pérdida de sensibilidad en las zonas correspondientes a los nervios plantares interno y externo, debilidad y parálisis de los músculos del pie, sobre todo de los flexores, un signo de Tinel positivo e hiperestesia en la región del trayecto del nervio.

Resulta esencial una adecuada exploración clínica de la función y de la situación neurológica y vascular. El síndrome también puede diagnosticarse mediante pruebas electrofisiológicas.

### Síndromes compartimentales de la extremidad inferior

Un síndrome compartimental es el resultado de una presión elevada mantenida en un espacio muscular intraaponeurótico cerrado, que da lugar a una circulación sanguínea marcadamente reducida en los tejidos.

Si se sospecha un síndrome compartimental, debe realizarse una buena exploración clínica que comprenda la valoración de la situación vascular, neurológica y muscular, la movilización activa y pasiva de la articulación, etc. Se medirá la presión mediante cateterismo múltiple de los compartimientos. La RM, la exploración Doppler y la ecografía pueden ser útiles para el diagnóstico.

### Tenosinovitis de la región del pie y el tobillo

De los numerosos síntomas del pie, el dolor secundario a tenosinovitis es bastante frecuente, sobre todo en la región del tobillo y en el arco longitudinal.

Para el diagnóstico son esenciales la anamnesis y la exploración clínica. Los principales síntomas son dolor local, hiperestesia y movimientos dolorosos. Se necesitan radiografías simples que muestren los cambios óseos, y una RM, sobre todo para los cambios de los tejidos blandos.

Es necesario el consejo ergonómico. El calzado adecuado, la corrección de los hábitos de carrera y marcha y la prevención de las situaciones de estrés excesivo en el trabajo suelen ser beneficiosas. A menudo están indicados un corto período de reposo, la inmovilización con enyesado y los fármacos antiinflamatorios.



### Hallux valgus

El hallux valgus es una desviación extrema de la primera articulación del dedo gordo del pie hacia la línea media.

La articulación metatarsiana es prominente, la cabeza del primer metatarsiano está aumentada de tamaño y puede haber un juanete de la bolsa (a menudo inflamado) sobre la cara interna de la articulación. El primer dedo a menudo se monta sobre el segundo. Los tejidos blandos del dedo sufren cambios con frecuencia debido a la deformidad. La amplitud de la extensión y la flexión de la articulación metatarsofalángica suele ser normal, aunque puede haber rigidez debido a la osteoartritis (hallux rígido). En la inmensa mayoría de los casos, el hallux valgus es indoloro y no precisa tratamiento. En algunos casos, sin embargo, provoca problemas de ajuste del calzado y dolor.

El tratamiento se adaptará en cada caso según la edad del paciente, el grado de deformidad y los síntomas. Sobre todo en los adolescentes y en los casos con síntomas leves, se recomienda el tratamiento conservador: calzado adecuado, plantillas, almohadillas para proteger el juanete y similares.

La cirugía se reserva sobre todo para los pacientes adultos con graves problemas para calzarse y con dolor, cuyos síntomas no se alivian con el tratamiento conservador. Los métodos quirúrgicos no siempre tienen éxito y, por tanto, los meros factores estéticos no deben constituir una indicación real para la cirugía; sin embargo, las opiniones acerca de la utilidad de los alrededor de los 150 métodos quirúrgicos diferentes para el hallux valgus son muy variadas.

### Fascitis plantar

El paciente nota dolor debajo del talón, sobre todo después de caminar o permanecer de pie mucho tiempo. El dolor se irradia a menudo a la planta del pie.

Existe hiperestesia local, sobre todo debajo del calcáneo, a nivel de la unión de la aponeurosis plantar. Toda la aponeurosis puede estar hiperestésica. Radiológicamente se observa un espolón óseo en el calcáneo en cerca del 50 % de los pacientes, aunque también está presente en el 10 al 15 % de los pies asintomáticos.



## 6. BIOMECÁNICA DEL CUERPO HUMANO

### 6.1. INTRODUCCIÓN A LA BIOMECÁNICA

La biomecánica es un área de conocimiento interdisciplinaria que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes en el movimiento de los seres vivos, incluyendo el estático. Es una disciplina científica que tiene por objeto el estudio de las estructuras de carácter mecánico que existen en los seres vivos, fundamentalmente del cuerpo humano. Esta área de conocimiento se apoya en diversas ciencias biomédicas, utilizando los conocimientos de la mecánica, la ingeniería, la anatomía, la fisiología y otras disciplinas, para estudiar el comportamiento del cuerpo humano y resolver los problemas derivados de las diversas condiciones a las que puede verse sometido.

La biomecánica está íntimamente ligada a la biónica y usa algunos de sus principios, ha tenido un gran desarrollo en relación con las aplicaciones de la ingeniería a la medicina, la bioquímica y el medio ambiente, tanto a través de modelos matemáticos para el conocimiento de los sistemas biológicos como en lo que respecta a la realización de partes u órganos del cuerpo humano y también en la utilización de nuevos métodos diagnósticos.

Una gran variedad de aplicaciones incorporadas a la práctica médica; desde la clásica pata de palo, a las sofisticadas ortopedias con mando mioeléctrico y desde las válvulas cardíacas a los modernos marcapasos existe toda una tradición e implantación de prótesis.

Hoy en día es posible aplicar con éxito, en los procesos que intervienen en la regulación de los sistemas, modelos matemáticos que permiten simular fenómenos muy complejos en potentes ordenadores, con el control de un gran número de parámetros o con la repetición de su comportamiento.

La biomecánica está presente en diversos ámbitos, aunque tres de ellos son los más destacados en la actualidad:

- La biomecánica médica: Evalúa las patologías que aquejan al hombre para generar soluciones capaces de evaluarlas, repararlas o paliarlas.
- La biomecánica deportiva: Analiza la práctica deportiva para mejorar su rendimiento, desarrollar técnicas de entrenamiento y diseñar complementos, materiales y equipamiento de altas prestaciones. El objetivo general de la investigación biomecánica deportiva es desarrollar una comprensión detallada de los deportes mecánicos específicos y sus variables de desempeño para mejorar el rendimiento y reducir la incidencia de lesiones. Esto se traduce en la investigación de las técnicas específicas del deporte, diseñar mejor el equipo deportivo, vestuario, y de identificar las prácticas que predisponen a una lesión. Dada la creciente complejidad de la formación y el desempeño en todos los niveles del deporte de

competencia, no es de extrañar que los atletas y entrenadores estén recurriendo en la literatura de investigación sobre la biomecánica aspectos de su deporte para una ventaja competitiva.

- La biomecánica ocupacional: Estudia la interacción del cuerpo humano con los elementos con que se relaciona en diversos ámbitos (en el trabajo, en casa, en la conducción de automóviles, en el manejo de herramientas...) para adaptarlos a sus necesidades y capacidades. En este ámbito se relaciona con otra disciplina como es la ergonomía. Últimamente se ha hecho popular y se ha adoptado la biomecánica ocupacional que proporciona las bases y las herramientas para reunir y evaluar los procesos biomecánicos en lo que se refiera a la actual evolución de las industrias, con énfasis en la mejora de la eficiencia general de trabajo y la prevención de lesiones relacionadas con el trabajo, esta está íntimamente relacionada con la ingeniería médica y de información de diversas fuentes y ofrece un tratamiento coherente de los principios que subyacen a la biomecánica bien diseñada y ergonomía de trabajo que es ciencia que se encarga de adaptar el cuerpo humano a las tareas y las herramientas de trabajo.

Muchos de los conocimientos generados por la biomecánica se basan en lo que se conoce como modelos biomecánicos. Estos modelos permiten realizar predicciones sobre el comportamiento, resistencia, fatiga y otros aspectos de diferentes partes del cuerpo cuando están sometidos a unas condiciones determinadas. Los estudios biomecánicos se sirven de distintas técnicas para lograr sus objetivos. Algunas de las más usuales son:

- Análisis de fotogrametría: Análisis de movimientos en 3D basado en tecnología de vídeo digital. Una vez procesadas las imágenes capturadas, la aplicación proporciona información acerca del movimiento tridimensional de las personas o de los objetos en el espacio.
- Análisis de comportamiento tensión-deformación directo: Este tipo de análisis se ocupa de determinar la *resistencia* de un material biológico ante la ejecución de una fuerza que actúa sobre este. Estas fuerzas, en sentido general, pueden ser de tipo compresivo o bien de tipo tracción y generarán en la estructura cambios fundamentales.
- Biomecánica computacional. Se refiere a las simulaciones computarizadas de sistemas biomecánicos, tanto para poner a prueba modelos teóricos y refinarlos, como para las aplicaciones técnicas.

## 6.2. COLUMNA LUMBAR

### 6.2.1. INTRODUCCIÓN

El movimiento activo de la columna se produce como en cualquier articulación por la interacción combinada de los nervios y los músculos. Los músculos agonistas, motores primarios, inician y llevan a cabo el movimiento, y los músculos antagonistas controlan y modifican el movimiento, mientras la co-contracción de ambos grupos estabiliza la columna. El rango de movimiento difiere en los distintos niveles de la columna y depende de la orientación de las facetas de las articulaciones intervertebrales. El movimiento entre dos vértebras es pequeño y no se produce independientemente, todos los movimientos de la columna implican la acción combinada de varios segmentos móviles. Las estructuras esqueléticas que influyen en el movimiento del tronco son la caja torácica, que limita el movimiento torácico, y la pelvis, lo que aumenta los movimientos del tronco mediante su báscula.

### 6.2.2. MOVIMIENTO SEGMENTARIO DE LA COLUMNA

Las vértebras tienen seis grados de libertad: la rotación y la traslación a lo largo de un eje transversal, uno sagital y otro longitudinal.

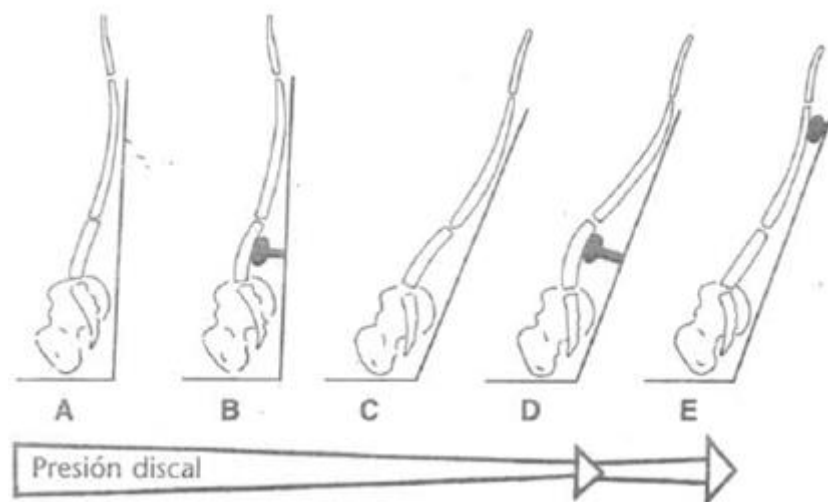
El rango de flexión y extensión es aproximadamente de 40° en cada uno de los segmentos móviles de la columna torácica superior, aproximadamente 6° en la región torácica media y unos 12° en los dos torácicos inferiores. Este rango se incrementa progresivamente en los segmentos móviles lumbares, alcanzando un máximo de 20° en el nivel lumbosacro.

La inclinación lateral muestra el rango máximo en cada uno de los segmentos torácicos inferiores, alcanzando de 8 a 9°. En los segmentos torácicos superiores, el rango es uniformemente 6°. También se encuentran 6° de inclinación lateral de todos los segmentos lumbares excepto en el segmento lumbosacro, que demuestra sólo 3° de movimiento.

La rotación es máxima en los segmentos superiores de la columna torácica, donde el rango es de 9°. El rango de rotación disminuye de forma progresiva caudalmente, alcanzando los 2° en los segmentos inferiores de la columna lumbar. Aumenta luego a 5° en el segmento lumbosacro.

### 6.2.3. CARGAS COMPARATIVAS SOBRE LA COLUMNA LUMBAR DURANTE LA SEDESTACIÓN

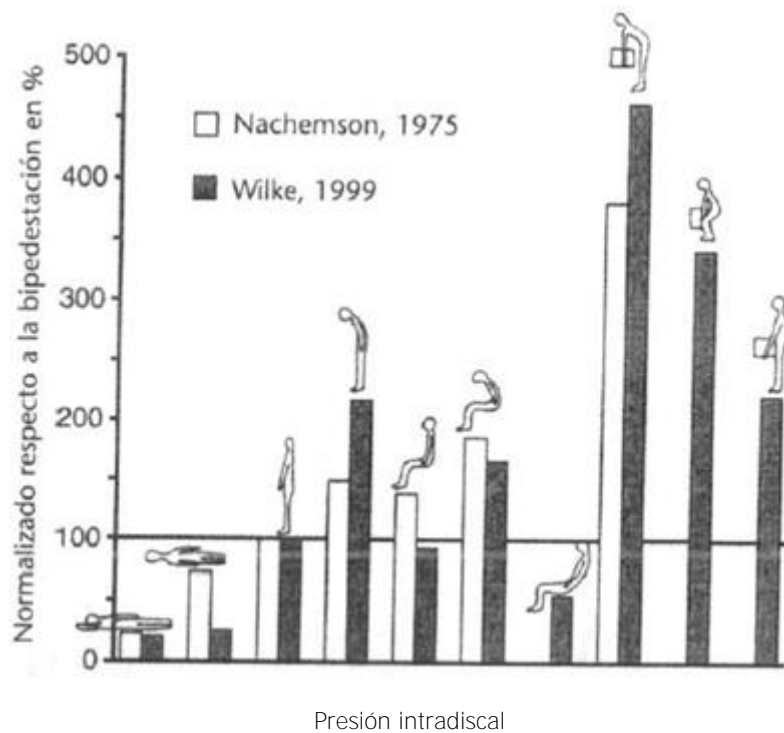
Las cargas sobre la columna lumbar son inferiores durante la sedestación con apoyos que durante la sedestación sin apoyos. Durante la sedestación con apoyos, el peso del tronco se apoya en el respaldo, lo que reduce la actividad muscular, aliviando la presión intradiscal. La inclinación hacia atrás del respaldo y el uso de un soporte lumbar reducen todavía más las cargas. El uso de un apoyo en la columna torácica, sin embargo, empuja la columna torácica y el tronco hacia delante y provoca que la columna lumbar se mueva hacia la cifosis para mantener el contacto con el respaldo, incrementando las cargas sobre la columna lumbar.



Influencia de la inclinación del respaldo y el apoyo para la espalda sobre las cargas de la columna lumbar.

En la figura anterior se observa la influencia de la inclinación del respaldo y el apoyo para la espalda sobre las cargas de la columna lumbar, en términos de presión, en el tercer disco lumbar, durante la sedestación mantenida. (A) La inclinación del respaldo son 90° y la presión discal está al máximo. (B) Al añadir un apoyo lumbar, disminuye la presión discal. (C) La inclinación hacia atrás del respaldo es de 110°, pero sin apoyo lumbar, produce menos presión discal. (D) Añadir un apoyo lumbar con este grado de inclinación del respaldo disminuye la presión. (E) El desplazamiento del apoyo a la región torácica empuja el tronco hacia delante, moviendo la columna lumbar hacia la cifosis e incrementando la presión discal.

Datos de dos estudios usando mediciones de la presión intradiscal. Se miden en vivo las cargas relativas sobre el tercer y cuarto disco lumbar en distintas posiciones del cuerpo y se comparan con la carga durante la bipedestación erecta, representada como el 100%.



## 6.3. COLUMNA CERVICAL

### 6.3.1. INTRODUCCIÓN

Las mediciones del rango de movimiento cervical se basan en estudios radiográficos o investigaciones *post-mortem*. Los inclinómetros y distintos equipos optoelectrónicos y electromagnéticos usados clínicamente para la evaluación suave del movimiento de la columna cervical no son tan precisos. En particular, el movimiento acoplado se cuantifica muy pobremente.

### 6.3.2. RANGO DE MOVIMIENTO CERVICAL

El rango establecido de rotación axial activa hacia un lado en C1-C2 es de 27 a 49° (promedio=39°); la rotación pasiva va de 29 a los 46° (promedio=41°)<sup>5</sup>. Estos registros representan aproximadamente el 50% de la rotación cervical total.

Otro estudio estereorradiográfico del movimiento del cuello en varones adultos halló un promedio de 105° de rotación axial entre el occipital y la vértebra C7. El 70% de la rotación axial total se produjo entre el occipital y C2. Cada segmento móvil entre C2 y C7 promedió de 4 a 8° de rotación<sup>6</sup>. Menos apreciable es el hecho que una cantidad considerable de flexión y extensión se produce en la articulación C1-C2; se producen de 5 a 20° de flexión y extensión con medias de 12° (activa) a 15° (pasiva)<sup>7</sup>.

Aproximadamente 90° de rotación axial tienen lugar en la columna cervical subaxial (C3-C7), alrededor de 45° a cada lado desde la posición neutra. Incluso es posible una mayor inclinación lateral, aproximadamente unos 49° hacia cada lado desde la posición neutra, proporcionando un total de unos 98°. El rango de flexión y extensión es aproximadamente 64°; alrededor de 24° de extensión y de 40° de flexión. El movimiento en cada plano está bastante uniformemente distribuido a lo largo de los segmentos móviles<sup>8</sup>. El rango total medio de la traslación anteroposterior en los segmentos móviles espinales subaxiales es de  $3,5 \pm 0,3$ mm dividido desigualmente; 1,9mm para la cizalla anterior y 1,6mm para la cizalla posterior. La carga de cizalla lateral causa un rango total promedio de movimiento lateral de  $3,0 \pm 0,3$ mm, dividido igualmente entre la derecha y la izquierda; la tensión provoca 1,1mm de distracción y compresión, 0,7mm de pérdida de altura vertical<sup>9</sup>.

---

<sup>5</sup> Dvorak *et al.*, 1987; Dvorak *et al.*, 1988b; Penning y Wilmink, 1987

<sup>6</sup> Mimura *et al.*, 1989

<sup>7</sup> Dvorak *et al.*, 1988

<sup>8</sup> Lysell, 1969

<sup>9</sup> Panjabi *et al.*, 1986





La gran flexibilidad de la columna cervical permite a la cabeza posicionarse en una amplia variedad de formas, permitiéndole a uno, con idéntica facilidad, contemplar un avión por encima de la cabeza, echar un vistazo por encima del hombro o buscar un objeto debajo de la mesa. Un análisis del movimiento combinado de la columna cervical usando el electrogoniómetro produjo un destacable rango de movimiento<sup>10</sup>:  $122^{\circ} \pm 18^{\circ}$  de flexión y extensión,  $144^{\circ} \pm 20^{\circ}$  de rotación axial y  $88^{\circ} \pm 16^{\circ}$  de inclinación lateral. Todos los movimientos primarios se redujeron con la edad. El sexo no tuvo influencias en el rango de movimiento cervical.

---

<sup>10</sup> Feipel *et al.*, 1999

## 6.4. HOMBRO

### 6.4.1. INTRODUCCIÓN

El hombro une la extremidad superior al tronco y actúa, asociado al codo, para posicionar la mano en el espacio para una función eficiente. Comprende las articulaciones glenohumeral, acromioclavicular, esternoclavicular y escapulotorácica y las estructuras musculares que actúan sobre ellas para producir la más dinámica y móvil articulación del cuerpo. La ausencia de limitaciones óseas permite un amplio rango de movimiento a expensas de la estabilidad, que es proporcionada por las diferentes estructuras ligamentarias y musculares.

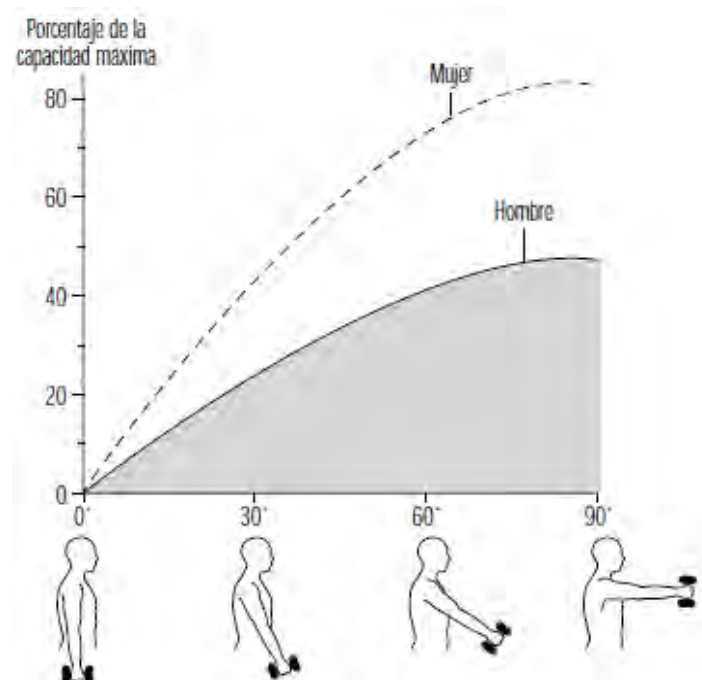
Para producir los movimientos necesarios para el normal funcionamiento del complejo del hombro, las cuatro articulaciones con sus componentes asociados actúan juntas de un modo que producen más movilidad de la que permitiría una articulación por sí sola. La habilidad del complejo del hombro para posicionar el húmero y el resto de la extremidad superior en el espacio es aumentada aún más por el movimiento de la columna.

El brazo representa alrededor del 5 % del peso corporal total, y su centro de gravedad está aproximadamente a medio camino entre la articulación glenohumeral y la muñeca. Cuando el brazo se eleva y se dobla, ya sea para alejarlo o acercarlo al cuerpo (abducción o flexión), se crea una palanca en la que aumenta la distancia desde el centro de gravedad y, por tanto, la fuerza de torsión y la torsión de carga sobre la articulación glenohumeral. El índice en el cual la torsión, aumenta sin embargo, no es simplemente directamente proporcional al ángulo al que se dobla el brazo, ya que la función matemática que describe las fuerzas mecánicas no es lineal, sino es una función sinusoidal del ángulo de abducción. La torsión sólo disminuye en un 10 % aproximadamente cuando el ángulo de flexión o de abducción disminuye de 90 a 60°. Sin embargo, si el ángulo disminuye de 60 a 30°, la torsión se reduce hasta en un 50%.

Los músculos más importantes para la abducción —o elevación del brazo separándolo lateralmente del cuerpo— son el músculo deltoides, los músculos del manguito de los rotadores y la cabeza larga del bíceps. Los músculos más importantes para la flexión hacia adelante —elevación del brazo separándolo del cuerpo hacia adelante— son la parte anterior del músculo deltoides, los músculos del manguito de los rotadores, el músculo coracobraquial y la cabeza corta del músculo bíceps braquial. La rotación interna se realiza mediante el músculo pectoral mayor, el músculo subescapular, la parte anterior del músculo deltoides y el músculo dorsal ancho. La rotación externa se realiza mediante la parte posterior del músculo deltoides, el músculo infraespinoso y los músculos redondo menor y mayor. Los músculos del manguito de los rotadores intervienen en todos los movimientos de la articulación glenohumeral o, lo que es lo mismo, en todos los

movimientos del brazo. Tienen su origen en la escápula, y sus tendones están dispuestos alrededor del húmero formando un manguito, de ahí su nombre. Los cuatro músculos del manguito de los rotadores son el supraespinoso, el infraespinoso, el redondo menor y el subescapular. Estos músculos actúan como ligamentos de la articulación glenohumeral y también mantienen a la cabeza humeral contra la escápula. Una rotura del manguito de los rotadores producirá una reducción de la fuerza de abducción, que afectará sobre todo a las posiciones en las que el brazo está doblado y separado del cuerpo. Cuando se pierde la función de los músculos deltoides, la fuerza de abducción puede reducirse hasta en un 50%, con independencia del ángulo en que esté doblado el brazo.

La fuerza de flexión en la articulación glenohumeral es de alrededor de 40 a 50 Nm en las mujeres y de 80 a 100 Nm en los varones. Cuando se mantiene el brazo en flexión de 90° hacia adelante y no se coloca sobre él ninguna carga externa, es decir, la persona no sostiene ningún peso ni usa el brazo para ejercer una fuerza, la carga estática es todavía de alrededor del 15 al 20% de la capacidad voluntaria máxima (CVM) en las mujeres y de alrededor del 10 al 15% de la CVM en los varones. Si se sujeta una herramienta de 1 kg de peso en la mano con el brazo extendido, la carga correspondiente en el hombro será de alrededor del 80% de la CVM en las mujeres.



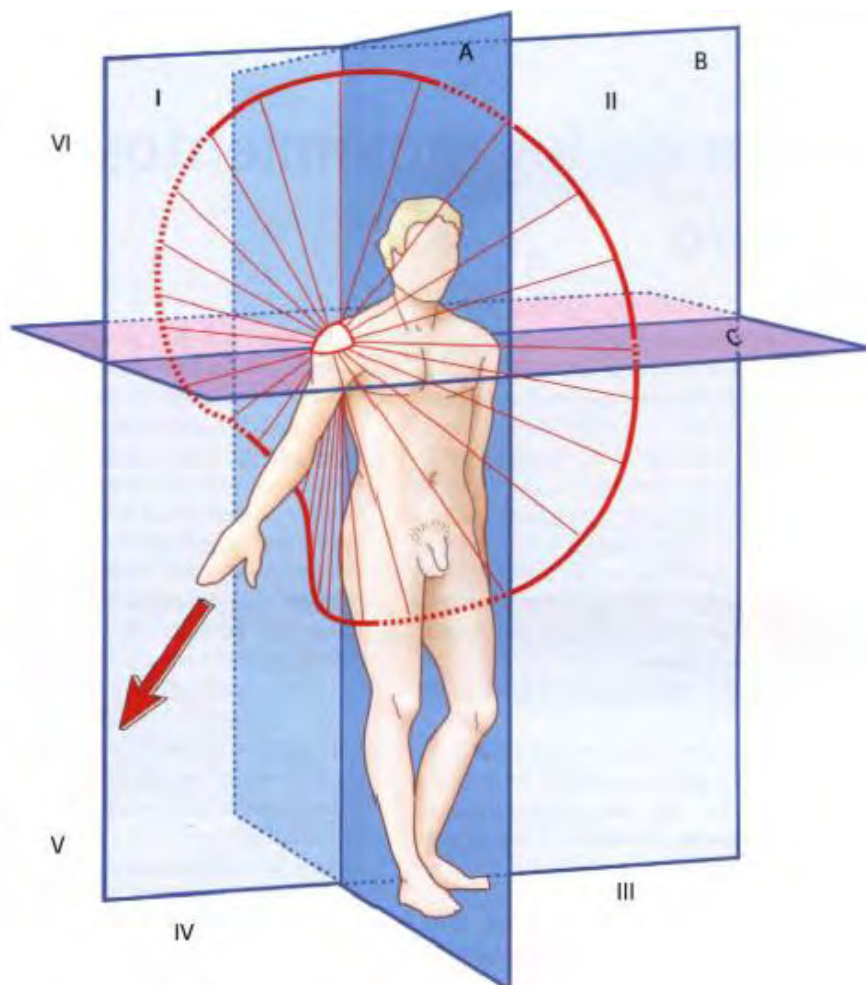
Resultados de sostener una herramienta de 1 kg en la mano manteniendo el brazo recto a diferentes ángulos de flexión del hombro.

En todo momento en que exista flexión hacia adelante o abducción del brazo se producirá una carga sobre el sistema. Numerosos movimientos producen también una fuerza o carga de torsión. Dado que el brazo está conectado a la escápula por la articulación glenohumeral, cualquier carga aplicada sobre esta articulación se transmitirá a la escápula. La carga en la articulación glenohumeral, medida en % de la CVM, es casi directamente

proporcional a la carga aplicada sobre el músculo que fija la escápula en posición, la parte superior del trapecio.

#### 6.4.2. RANGO DE MOVIMIENTO

Se mide tradicionalmente en términos de flexión y extensión, abducción y rotación interna-externa; aunque estos movimientos puros raramente se ven. La elevación anterior teóricamente posible es de  $180^\circ$ , pero en la práctica la media para los hombres es de  $167^\circ$  y para las mujeres de  $170^\circ$ . La extensión o elevación posterior promedio es de  $60^\circ$ <sup>11</sup>. Estos valores son limitados por la torsión capsular. La abducción en el plano frontal es limitada por el pinzamiento óseo del troquíter bajo el acromion. La elevación anterior en el plano de la escápula se considera más funcional porque en este plano la porción inferior de la cápsula no se torsiona y la musculatura del hombro está alineada óptimamente para la elevación del brazo.



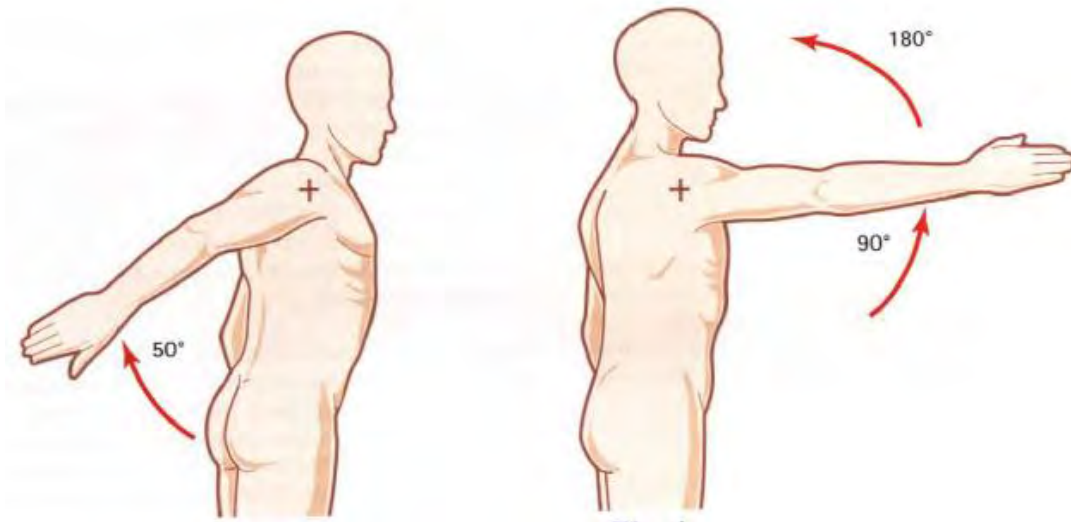
Planos frontal, sagital y horizontal del hombro.

---

<sup>11</sup> Boone y Azen, 1979

Los movimientos de flexoextensión se efectúan en el plano sagital, plano A de la figura anterior, en torno a un eje transversal:

- Extensión: Movimiento de poca amplitud, de 45 a 50°.
- Flexión: Movimiento de gran amplitud, 180°; obsérvese que la misma posición de flexión a 180° puede definirse también como una abducción de 180°, próxima a la rotación longitudinal.

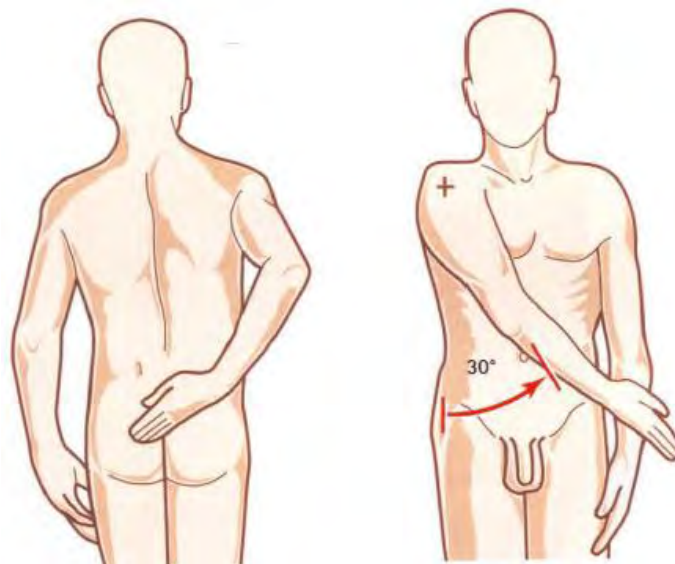


Movimientos de flexoextensión del hombro, extensión y flexión.

Los movimientos de aducción se llevan a cabo desde la posición anatómica, máxima aducción, en el plano frontal, pero son mecánicamente imposibles debido a la presencia del tronco.

Desde la posición anatómica, la aducción no es factible si no se asocia con:

- Una extensión: aducción muy leve.
- Una flexión: la aducción alcanza entre 30 y 45°.



Movimientos de aducción del hombro asociados a extensión y flexión.

La abducción es el movimiento que aleja el miembro superior del tronco, se realiza en el plano frontal (plano B), en torno al eje anteroposterior (eje 2).



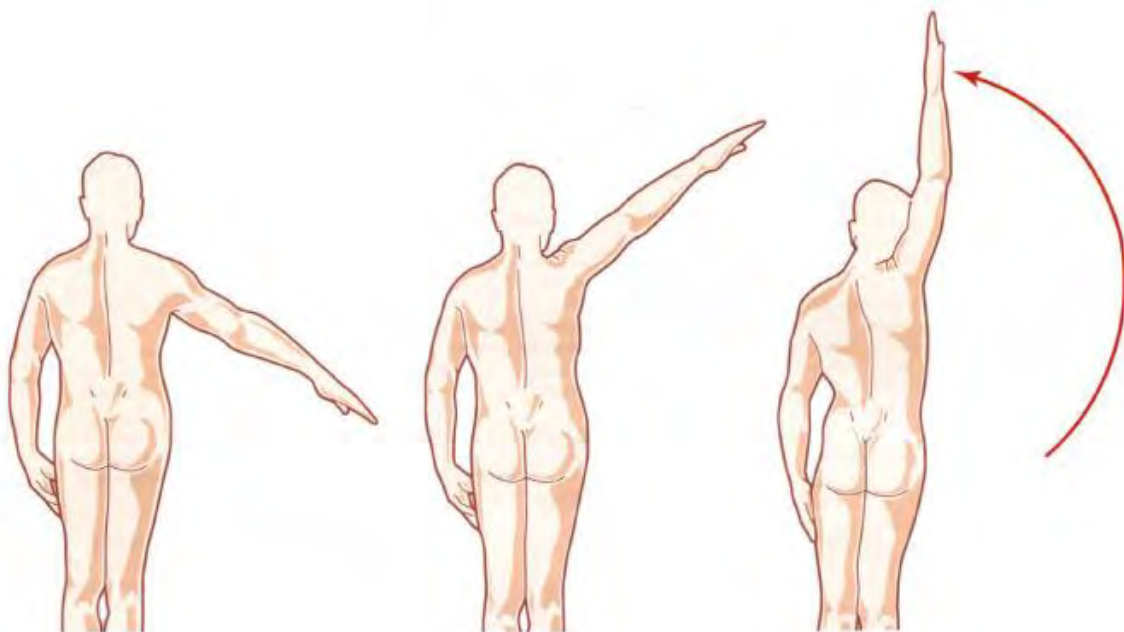
Ejes principales de movimiento del hombro.

La amplitud de la abducción alcanza los  $180^\circ$ , el brazo queda vertical por arriba del tronco.

A partir de los  $90^\circ$ , la abducción aproxima el miembro superior al plano de simetría del cuerpo, convirtiéndose en sentido estricto en una aducción. La posición final de abducción de  $180^\circ$  también puede alcanzarse con un movimiento de flexión de  $180^\circ$ .

En cuanto a las acciones musculares y el juego articular, la abducción, desde la posición anatómica, pasa por tres estadios:

- Abducción de  $0^\circ$  a  $60^\circ$  que puede efectuarse únicamente en la articulación glenohumeral.
- Abducción de  $60^\circ$  a  $120^\circ$  que necesita la participación de la articulación escapulotorácica.
- Abducción de  $120^\circ$  a  $180^\circ$  que utiliza, además de la articulación glenohumeral y la articulación escapulotorácica, la inclinación del lado opuesto del tronco.



Abducción de  $0$  a  $60^\circ$ , de  $60$  a  $120^\circ$  y de  $120$  a  $180^\circ$ .

### 6.4.3. LA ROTACIÓN DEL BRAZO SOBRE SU EJE LONGITUDINAL

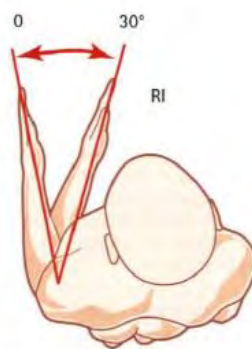
La rotación del brazo sobre su eje longitudinal puede hacerse alrededor de la articulación glenohumeral o mediante movimientos del muñón del hombro en el plano horizontal.

La rotación del brazo sobre su eje longitudinal (eje 3) puede realizarse en cualquier posición del hombro. Se trata de la *rotación voluntaria* o *adjunta* de las articulaciones con tres ejes y tres grados de libertad. Generalmente, esta rotación se mide en la posición anatómica del brazo, que pende verticalmente a lo largo del cuerpo.



Posición anatómica

- La posición anatómica, también denominada de rotación interna/externa 0°, se emplea para medir la amplitud de estos movimientos de rotación, el codo debe estar necesariamente flexionado a 90° de forma que el antebrazo está entonces en el plano sagital. Sin esta precaución, a la amplitud de los movimientos de rotación interna/externa del brazo se añadiría la de los movimientos de pronosupinación del antebrazo.

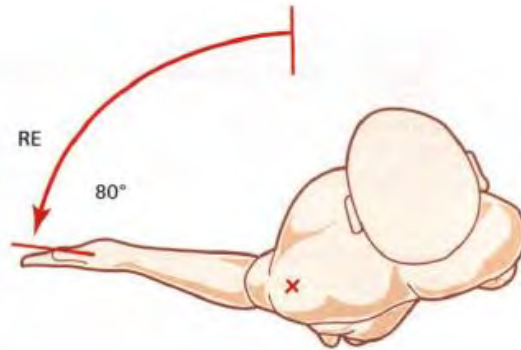


Posición anatómica con el antebrazo en el plano sagital

Esta posición anatómica con el antebrazo en el plano sagital, se adopta de manera totalmente arbitraria. En la práctica, la posición de partida más utilizada, debido a que corresponde al equilibrio de los rotadores, es la de rotación interna de 30° en relación a la posición anatómica, de modo que la mano se halla entonces delante del tronco. Podría denominarse posición anatómica fisiológica.

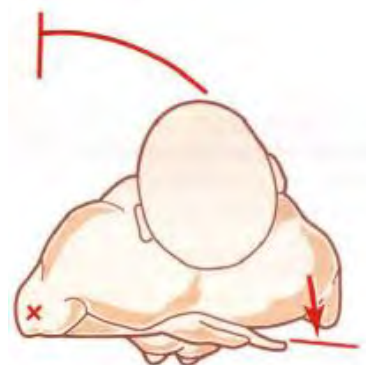


- La rotación externa tiene una amplitud máxima de  $80^\circ$ , jamás alcanza los  $90^\circ$ . Ésta amplitud total de  $80^\circ$  no se utiliza habitualmente en esta posición, con el brazo vertical a lo largo del cuerpo. Por el contrario, la rotación externa más empleada y por lo tanto la más importante desde el punto de vista funcional, es el sector comprendido entre la posición anatómica fisiológica (rotación interna  $30^\circ$ ) y la posición anatómica clásica (rotación  $0^\circ$ ).



Amplitud de la rotación externa

- La rotación interna tiene una amplitud de  $100$  a  $110^\circ$ . Para alcanzarla, se requiere necesariamente que el antebrazo pase por detrás del tronco, lo que asocia cierto grado de extensión al hombro. La libertad de este movimiento es indispensable para que la mano pueda alcanzar la espalda. En cuanto a los  $90$  primeros grados de rotación interna, se asocian ineludiblemente con una flexión de hombro mientras que la mano quede por delante del tronco. Los músculos motores de la rotación longitudinal se abordarán más adelante. Por lo que respecta a la rotación longitudinal del brazo en las demás posiciones distintas a la anatómica, no puede medirse de forma precisa más que mediante un sistema de coordenadas polares o con la prueba del meridiano. Los músculos rotadores intervienen de manera distinta para cada posición, unos pierden su acción rotadora mientras que otros la adquieren. Esto no es más que un ejemplo de la ley de inversión de las acciones musculares según la posición.



Amplitud de la rotación interna



Los movimientos del muñón del hombro en el plano horizontal ponen en juego la articulación escapulotorácica. En posición anatómica, retroposición del muñón del hombro y anteposición del muñón del hombro. Obsérvese que la amplitud de la anteposición es mayor que la de la retroposición.



Posición anatómica, retroposición del muñón del hombro y anteposición del muñón del hombro

#### 6.4.4. FLEXOEXTENSIÓN HORIZONTAL

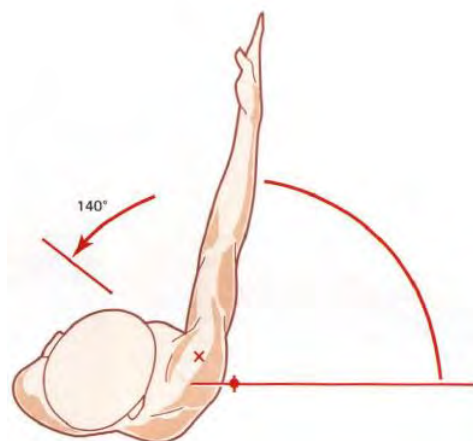
Se trata del movimiento del miembro superior (Figs. 17, 18 Y 19) en el plano horizontal (Plano C) en torno al eje vertical, o más exactamente, en torno a una sucesión de ejes verticales, ya que el movimiento se realiza no sólo en la articulación glenohumeral sino también en la escapulotorácica.

- Posición anatómica: el miembro superior está en abducción de  $90^\circ$  en el plano frontal, lo que emplaza la acción de la siguiente musculatura: músculo deltoides, músculo supraespinoso, músculo trapecio y músculo serrato anterior.



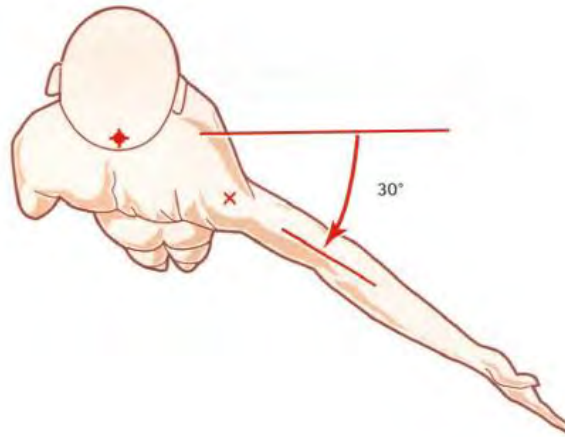
Movimiento del miembro superior en el plano horizontal, posición anatómica.

- Flexión horizontal: movimiento que asocia la flexión y la aducción de  $140^\circ$  de amplitud. Activa los siguientes músculos: músculo deltoides, músculo subescapular, músculos pectorales mayor y menor y músculo serrato anterior.



Movimiento del miembro superior en el plano horizontal, flexión horizontal.

- Extensión horizontal: movimiento que asocia la extensión y la aducción de menor amplitud, 30-40°, activa los siguientes músculos: músculo deltoides, músculo supraespinoso, músculo infraespinoso, músculos redondos mayor y menor, músculo romboides, músculo trapecio, músculo dorsal ancho.



Movimiento del miembro superior en el plano horizontal, extensión horizontal.

La amplitud total de este movimiento de flexoextensión horizontal alcanza casi los 180°. De la posición extrema anterior a la posición extrema posterior se activan sucesivamente, como si se tratase de la escala musical de un piano, las distintas porciones del músculo deltoides, que resulta ser el principal músculo de este movimiento.

#### 6.4.5. MOVIMIENTO DE CIRCUNDUCCIÓN

La circunducción combina los movimientos elementales en torno a tres ejes (Fig. 20). Cuando ésta circunducción alcanza su máxima amplitud, el brazo describe en el espacio un cono irregular: *el cono de circunducción*. Su cúspide se sitúa en el centro teórico del hombro, su lado es igual a la longitud del miembro superior, pero su base, lejos de representar un cono regular, está deformada debido al tronco. El citado cono delimita en el espacio un sector esférico de accesibilidad, en cuyo interior la mano puede coger objetos sin desplazamiento del tronco, para llevárselos provisionalmente a la boca.

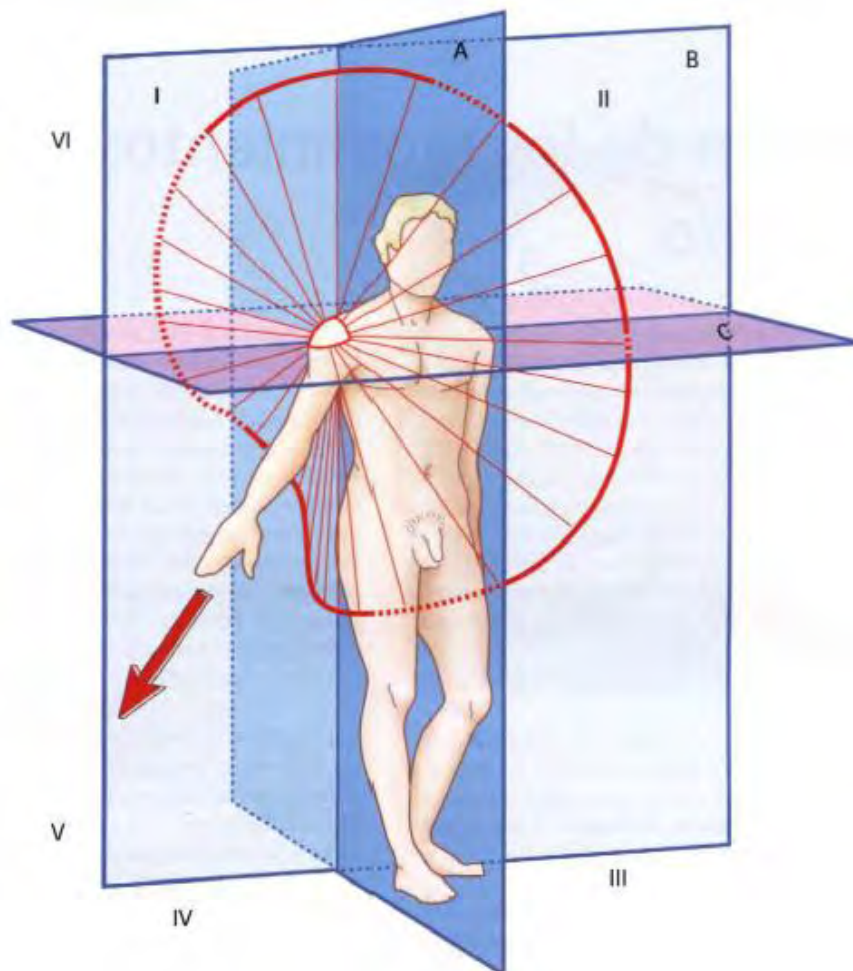
La figura de los *Planos frontal, sagital y horizontal del hombro* muestra en rojo la trayectoria de las puntas de los dedos: se trata de la base del cono de circunducción, deformada por la presencia del cuerpo. Los tres planos ortogonales de referencia (perpendiculares entre ellos) se cruzan en un punto localizado en el centro del hombro. Se denominan:

- Plano sagital A, o más bien para-sagital, ya que el verdadero plano sagital pasa por el eje longitudinal del cuerpo. Se trata del plano de la flexión-extensión.
- Plano frontal B, paralelo al plano de apoyo dorsal, o coronal. Se trata del plano de

aducción-abducción.

- Plano transversal C, perpendicular al eje del cuerpo. Se trata del plano de la flexoextensión horizontal, es decir en el plano horizontal.

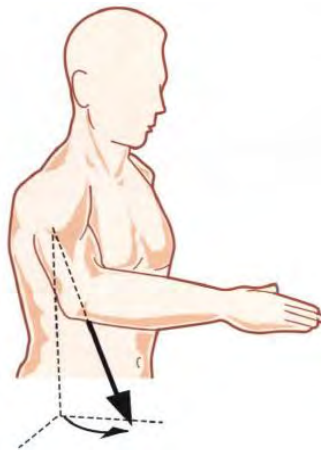
Partiendo de la posición anatómica, miembro superior pendiente a lo largo del cuerpo, la trayectoria recorre sucesivamente los sectores III - II - VI - V - IV. Al interior del cono, el miembro superior puede explorar el sector I. Los sectores VII y VIII (sin representar en el esquema) son, no obstante, accesibles gracias a la flexión del codo. De este modo, la mano puede alcanzar cualquier punto del cuerpo.



Planos frontal, sagital y horizontal del hombro.

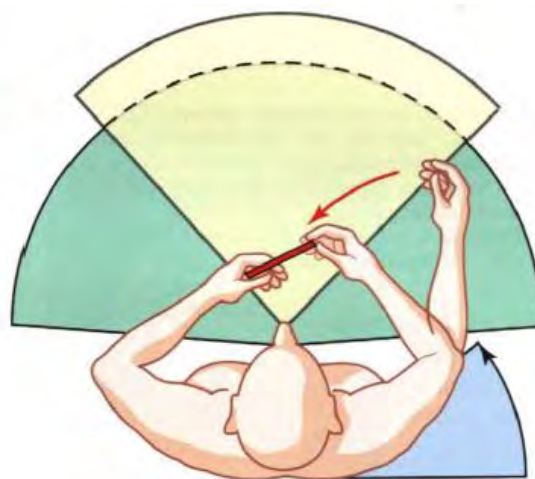
La flecha roja que continua la dirección del brazo, indica el eje del cono de circunducción, su orientación en el espacio se corresponde casi con la definida como *posición funcional*. También es la *posición de equilibrio* de los músculos periarticulares, por lo que es la posición elegida como *posición de inmovilización* en el caso de fracturas localizadas en la articulación del hombro y en el miembro superior. La citada posición se localiza en el sector IV, que merece denominarse *sector de accesibilidad preferente*. Responde a la necesidad de mantener las manos trabajando bajo control visual. El cruce parcial y por delante de los dos sectores de accesibilidad de los miembros superiores obedece a la

misma necesidad, permitiendo que ambas manos trabajen simultáneamente bajo control visual estereoscópico, que representa también la intersección, en un sector de  $90^\circ$ , del campo visual de los ojos.



Posición funcional del hombro.

Los campos visuales y los sectores de accesibilidad se cubren pues casi exactamente del mismo modo.



Sector de accesibilidad preferente.

También hay que tener en cuenta que el movimiento de la columna torácica y lumbar contribuye a la habilidad de posicionar la extremidad superior en el espacio, aumentando por lo tanto el movimiento y la función global del complejo hombro. La inclinación contralateral de la columna respecto a la extremidad que intenta alcanzar un objeto por encima de la cabeza aumenta el rango de movimiento obtenible. También es importante el movimiento espinal en las actividades por encima de la cabeza.

## 6.5. CODO

### 6.5.1. INTRODUCCIÓN

El complejo de la articulación del codo permite dos tipos de movimientos: la flexión-extensión y la pronación-supinación. Las articulaciones humerocubital y humerorradial permiten la flexión y extensión del codo y se clasifican como articulaciones bisagra o gínglimoide. La articulación radiocubital proximal permite la pronación y supinación del antebrazo y se clasifica como una articulación trocoide. El complejo de la articulación del codo, si se considera en su totalidad, es por tanto, una articulación trocleogínglimoide. La tróclea y el cóndilo de la parte distal del húmero están rotados internamente de 3 a 8° y tienen una angulación de 94 a 98° de valgo con respecto al eje longitudinal de su diáfisis.

La parte distal del húmero se divide en las columnas medial y lateral que terminan distalmente con la unión de la tróclea con las dos columnas. La columna medial se separa de la diáfisis humeral con un ángulo de 45° y termina aproximadamente 1cm más próxima a la parte distal de la tróclea. El tercio distal de la columna medial se compone de hueso esponjoso, es de forma ovoide y representa la epitróclea. La columna lateral de la parte distal del húmero se separa con un ángulo de 20° respecto al húmero al mismo nivel que la columna medial y termina formando el cóndilo. La cóndila tiene la forma de una bobina y comprende un labio medial y otro lateral con un surco interpuesto. Este surco se articula con la escotadura semilunar de la parte proximal del cúbito. La superficie articular de la tróclea se cubre de cartílago hialino en un arco de 330°. El cóndilo, que es casi una perfecta semiesfera, se cubre de cartílago hialino formando un arco de aproximadamente 180°.

La superficie articular del cúbito está rotada 30° posteriormente con respecto a su eje longitudinal. Esto se asocia con la angulación anterior de 30° de la parte distal del húmero, lo que ayuda a proporcionar estabilidad a la articulación del codo en extensión completa. El arco de cartílago articular de la cavidad sigmoidea mayor es de 180°, pero a menudo no es continua en su proporción media. En más del 90% de los individuos este área está compuesta de tejido fibroso graso<sup>12</sup>.

El cuello radial está angulado 15° respecto al eje longitudinal en el plano antero-posterior alejándose de la tuberosidad bicipital. Cuatro quintos de la cabeza radial se recubren de cartílago hialino. El quinto quinto no posee cartílago articular ni hueso subcondrial fuerte.

---

<sup>12</sup> Walker, 1977

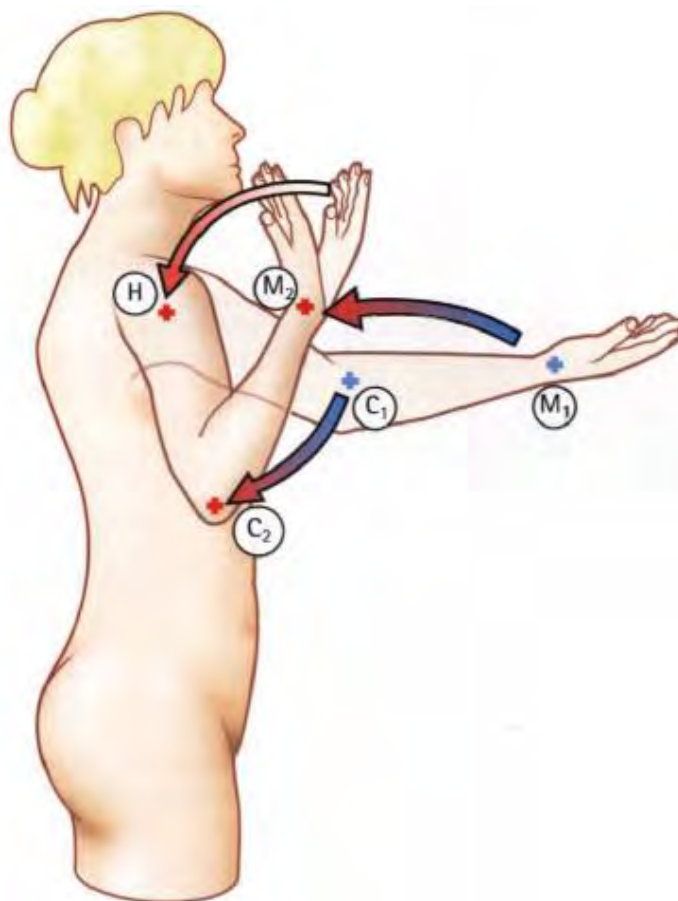
### 6.5.2. RANGO DE MOVIMIENTO

La flexión y extensión del codo tienen lugar en las articulaciones humerocubital y humerorradial. El rango normal de flexión-extensión es de 0 a 146° con un rango funcional de 30 a 130°. El rango normal de pronación-supinación del antebrazo da una media de 71° de pronación y 81° de supinación (Morrey *et al.*, 1981). La mayoría de las actividades se llevan a cabo entre el rango funcional de 50° de pronación a 50° de supinación.

### 6.5.3. FUNCIÓN DE SEPARACIÓN Y APROXIMACIÓN DE LA MANO

El codo es la articulación intermedia del miembro superior, pues realiza la unión mecánica entre el primer segmento, el brazo, y el segundo, el antebrazo. Le posibilita, orientado en los tres planos del espacio gracias al hombro, desplazar más o menos lejos del cuerpo su extremidad activa, la mano.

El codo constituye junto con el brazo y el antebrazo un compás que posibilita la aproximación, hasta casi contactar, de la muñeca  $M_1$  al hombro  $H$ , cerca del cual casi contacta en  $M_2$ , mientras que el codo se flexiona de  $C_1$  a  $C_2$ , de modo que la mano alcanza entonces con facilidad la región deltoidea y la boca.



Compás constituido por codo, brazo y antebrazo.



#### 6.5.4. LAS LIMITACIONES DE LA FLEXOEXTENSIÓN

La limitación de la extensión se debe a tres factores:

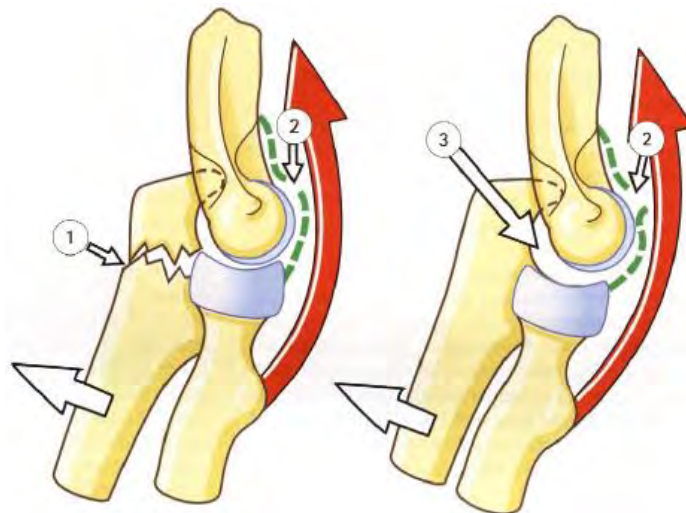
- El impacto del pico olecraniano en el fondo de la fosita olecraniana.
- La puesta en tensión de la parte anterior de la cápsula articular.
- La resistencia que oponen los músculos flexores (bíceps braquial, braquial y braquiorradial).



Limitación de la extensión del codo.

Si la extensión prosigue, uno de los citados frenos se rompe:

- Fractura del olécranon (1), seguida de desgarro capsular (2).
- El olécranon (1) resiste, pero la cápsula (2) y los ligamentos se rompen y se produce una luxación posterior (3) de la articulación del codo. Los músculos en general, permanecen intactos. Sin embargo, la arteria braquial se puede romper o, al menos sufrir una contusión.

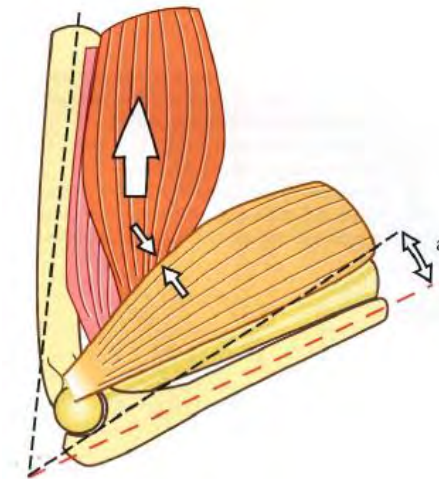


Fractura en el codo por extensión.

La limitación de la flexión es distinta según sea una flexión activa o pasiva.

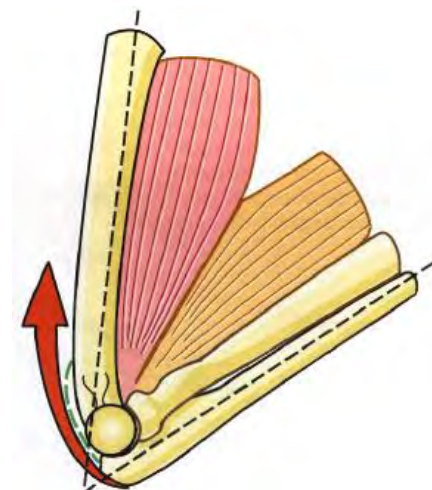
Si la flexión es activa:

- El primer factor limitante es el contacto de las masas musculares (flechas blancas) del compartimento anterior del brazo y del antebrazo, endurecidas por la contracción. Este mecanismo explica que la flexión activa no pueda sobrepasar los  $145^\circ$ , hecho tanto más acentuado cuanto más musculoso sea el individuo.
- Los factores restantes, impacto óseo y tensión capsular, apenas intervienen.



Flexión activa del codo.

Si la flexión es pasiva por la acción de una fuerza (flecha roja) que *cierra* la articulación. Las masas musculares sin contraer pueden aplastarse una contra otra de modo que la flexión sobrepasa los  $145^\circ$ . Entonces aparecen los otros factores limitantes, como son el impacto de la cabeza radial contra la fosita supracondílea y de la coronoidea contra la fosita supratroclear, la tensión de la parte posterior de la cápsula y la tensión pasiva del músculo tríceps braquial. En estas condiciones, la flexión puede alcanzar los  $160^\circ$  debido a que el ángulo  $a$  de la figura anterior aumenta.



Flexión pasiva del codo.



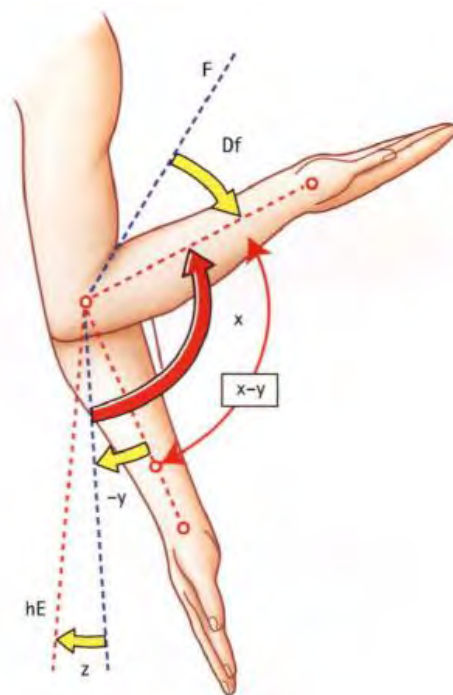
### 6.5.5. LA AMPLITUD DE LOS MOVIMIENTOS DEL CODO

La posición anatómica para la medición de amplitudes se define con el eje del antebrazo en la prolongación del eje del brazo.



Posición anatómica del codo para la medición de amplitudes.

La extensión es el movimiento que dirige el antebrazo hacia atrás. La posición anatómica corresponde a la extensión completa, por definición, no existe amplitud en el caso de la extensión del codo, excepto en algunos sujetos que poseen una gran laxitud ligamentosa, como las mujeres y los niños, que pueden alcanzar una hiperextensión  $hE$  de 5 a 10° de codo  $z$ .

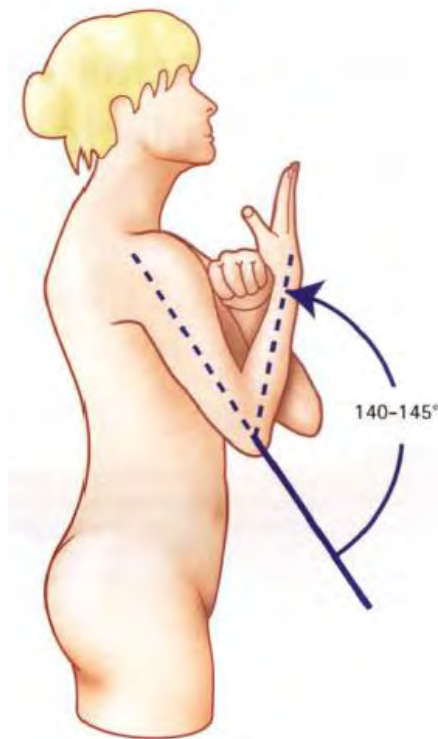


Movimiento de extensión del codo.

Sin embargo, la extensión relativa siempre es factible a partir de cualquier posición de flexión de codo. Cuando la extensión es incompleta se mide negativamente, por ejemplo, una extensión de  $-40^\circ$  corresponde a un déficit de extensión de  $40^\circ$ , quedando el codo flexionado a  $40^\circ$  cuando se intenta extenderlo completamente.

En la anterior figura el déficit de extensión es  $-y$ , la flexión  $+x$ ,  $Df$  representa entonces el déficit de flexión y el recorrido útil de flexoextensión es  $x-y$ .

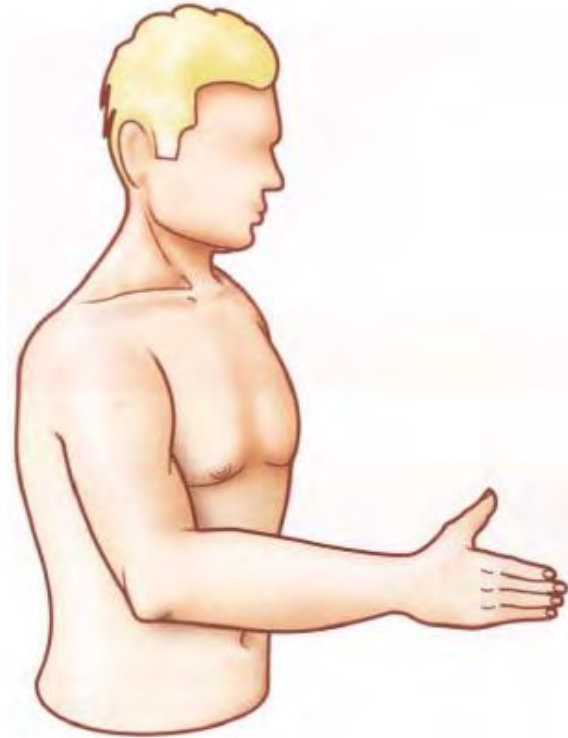
La flexión es el movimiento que dirige el antebrazo hacia delante, de tal forma que la cara anterior del antebrazo contacta con la cara anterior del brazo. La amplitud de la flexión activa es de  $140-145^\circ$ . Es muy fácil de observar, sin goniómetro, gracias a la *prueba del puño cerrado*. La distancia entre el muñón del hombro y la muñeca corresponde a la medida de un puño ya que la muñeca no contacta con el hombro. La amplitud de la flexión pasiva es de  $160^\circ$ . Puede obtenerse cuando el evaluador empuja la muñeca hacia el hombro.



Movimiento de flexión del codo.

### 6.5.6. EFICACIA DE LOS GRUPOS FLEXOR Y EXTENSOR

La posición funcional del codo, al igual que su posición de inmovilización, se con una flexión de  $90^\circ$  y una pronosupinación neutra, mano en el plano vertical.



Posición funcional del codo.

En conjunto, los músculos flexores de la articulación del codo son algo más eficaces que los músculos extensores. En posición de relajación, brazo colgando a lo largo del cuerpo, el codo ligeramente flexionado, tanto más cuanto más musculoso sea el sujeto. La fuerza de los flexores difiere según la posición de pronosupinación. La fuerza de flexión en pronación es mayor que la fuerza de flexión en supinación, de hecho, el músculo bíceps braquial está más elongado y, por lo tanto, es más eficaz cuando el antebrazo está en pronación.

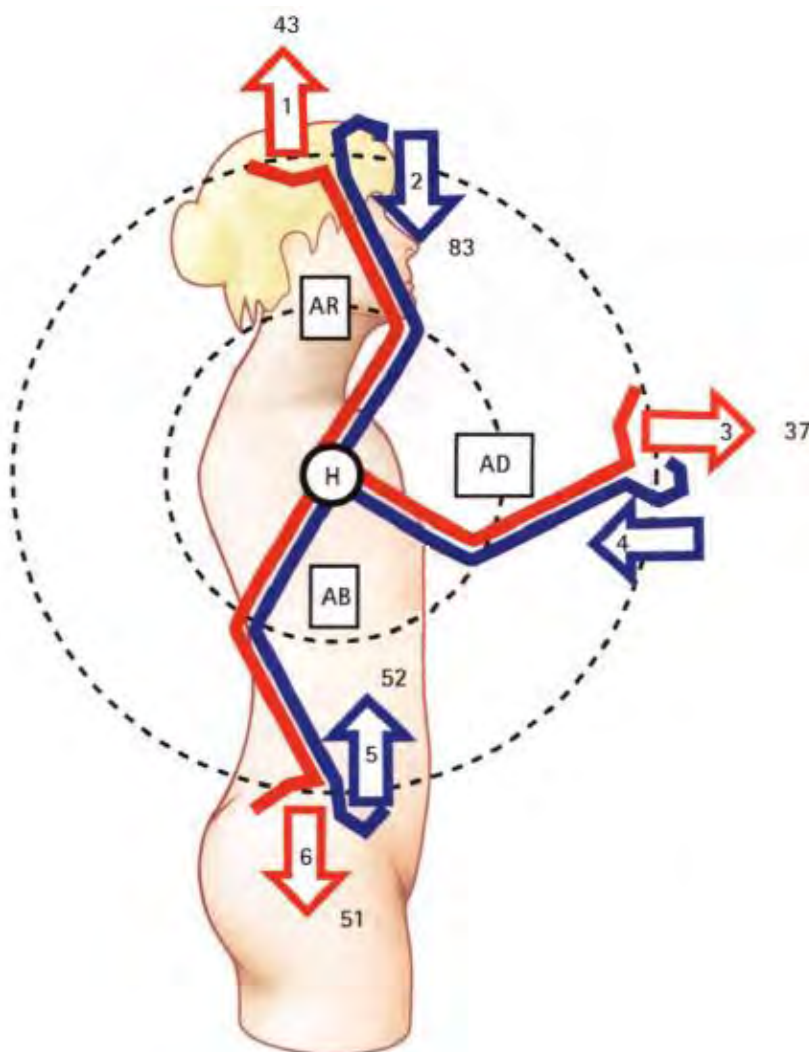
La relación entre ambas potencias es de 5 pronación a 3 supinación.

Además, la fuerza de los grupos musculares difiere según la posición de la articulación del hombro:

- Brazo vertical por arriba del hombro AR
  - La fuerza de extensión (flecha 1), como en el caso del levantamiento de pesas, es de 43 kg.
  - La fuerza de flexión (flecha 2), como cuando se eleva un cuerpo en suspensión, es de 83 kg.
- Brazo en flexión de  $90^\circ$  AD

- La fuerza de extensión (flecha 3), como cuando se empuja un objeto pesado hacia delante, es de 37 kg.
- La fuerza de flexión (flecha 4), como cuando se rema, es de 66 kg.
- Brazo vertical a lo largo del cuerpo AB
  - La fuerza de flexión (flecha 5), como para levantar un objeto pesado, es de 52 kg.
  - La fuerza de extensión (flecha 6), como la que se desarrolla al elevarse por arriba de unas barras paralelas, es de 51 kg.

De modo que existen posiciones preferentes en las que la eficacia de los grupos es máxima, en el caso de la extensión, hacia abajo (flecha 6). En el caso de la flexión, hacia arriba (flecha 2). Lo cual significa que la musculatura de los miembros superiores está totalmente adaptada para trepar.



Fuerza de los grupos musculares según la posición de la articulación del hombro.

### 6.5.7. LA PRONOSUPINACIÓN

La pronosupinación es el movimiento de rotación del antebrazo en torno a su eje longitudinal. Este movimiento necesita la intervención de dos articulaciones mecánicamente unidas:

- La articulación radiocubital proximal, que pertenece anatómicamente a la articulación del codo.
- La articulación radiocubital distal, que difiere anatómicamente de la articulación radiocarpiana.

Esta rotación longitudinal del antebrazo introduce un tercer grado de libertad en el complejo articular de la muñeca.

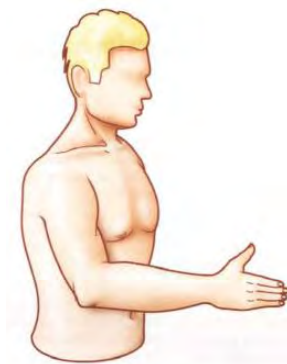
De este modo, la mano, como extremo efector del miembro superior, puede situarse en cualquier ángulo para poder coger o sostener un objeto. Este dispositivo anatómico lo sustituye en la muñeca la presencia de una articulación tipo enartrosis con tres grados de libertad, como en la articulación del hombro que, es causa de serios problemas mecánicos.

La rotación longitudinal en el antebrazo es así la solución a la vez lógica y elegante, cuya única consecuencia es la presencia de un segundo hueso, el radio, que soporta por si solo la mano y gira alrededor del primero, el cúbito, gracias a dos articulaciones radiocubitales.

La pronosupinación sólo puede analizarse con el codo flexionado  $90^\circ$  y pegado al cuerpo. De hecho, si el codo está extendido, el antebrazo se halla en la prolongación del brazo y a la rotación longitudinal del antebrazo se añade la rotación del brazo en torno a su eje longitudinal gracias a los movimientos de rotación externa-interna del hombro.

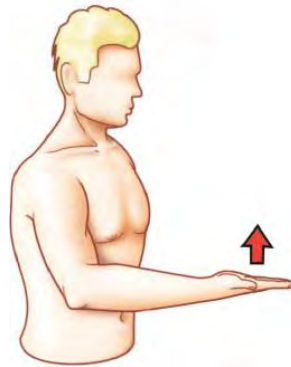
Con el codo en flexión de  $90^\circ$ :

- La posición anatómica, posición intermedia o posición cero, determinada por la dirección del pulgar hacia arriba y de la palma de la mano hacia dentro, no es ni pronación ni supinación. Es a partir de esta posición intermedia o posición cero que se miden las amplitudes de los movimientos de pronosupinación.



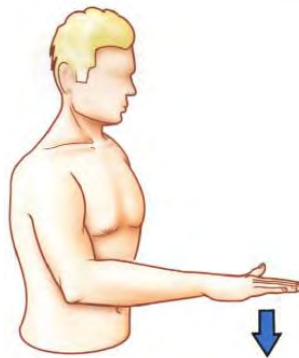
Posición anatómica del codo.

- La posición de supinación se realiza cuando la palma de la mano se dirige hacia arriba con el pulgar hacia fuera.



Posición de supinación del codo.

- La posición de pronación se realiza cuando la palma de la mano mira hacia abajo y el pulgar hacia dentro.



Posición de pronación del codo.

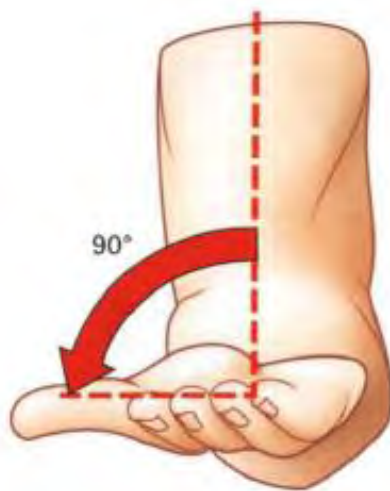
De hecho, cuando se observan el antebrazo y la mano alineados y de frente, es decir en la prolongación del eje longitudinal:

- La mano, en posición intermedia, se sitúa en el plano vertical, paralela al plano sagital, plano de simetría del cuerpo.



Mano en posición intermedia.

- La mano, en posición de supinación, se sitúa en el plano horizontal. La amplitud del movimiento de supinación es entonces de  $90^\circ$ .



Mano en posición de supinación.

- La mano, en posición de pronación, apenas alcanza el plano horizontal, la amplitud del movimiento de pronación es de  $85^\circ$ .



Mano en posición de pronación.

Resumiendo, la amplitud total de la verdadera pronosupinación, es decir cuando interviene únicamente la rotación axial del antebrazo, se aproxima a los  $180^\circ$ .

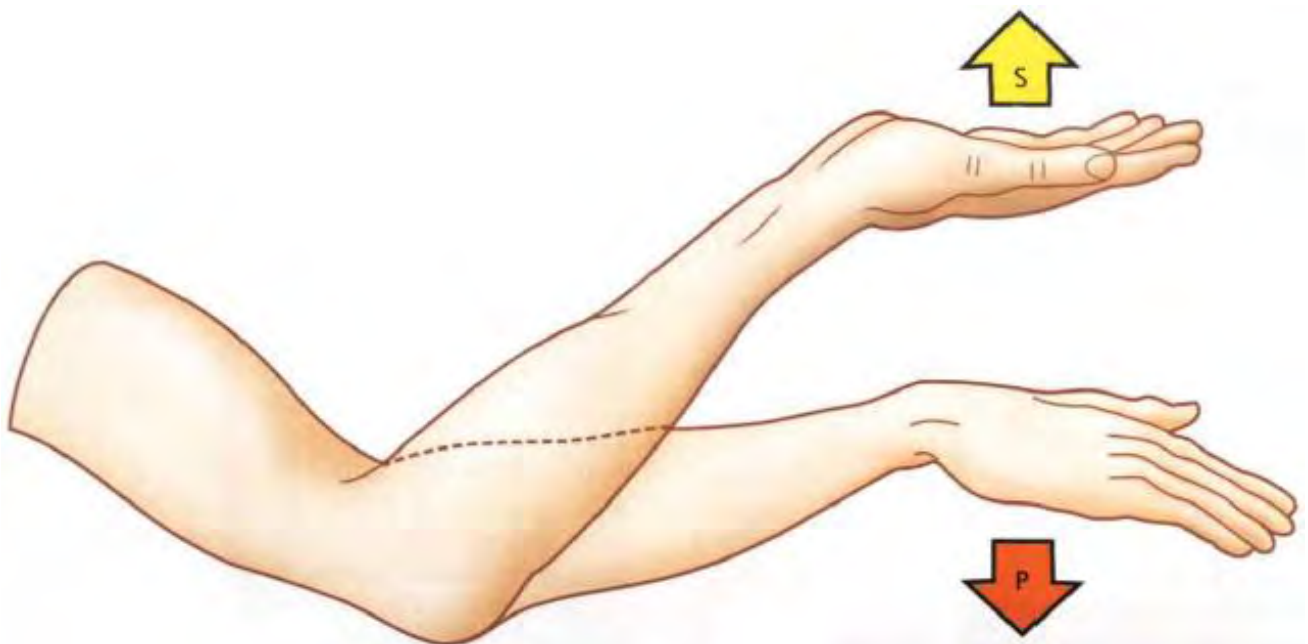
Cuando se asocian los movimientos de rotación de la articulación del hombro, el codo estando totalmente extendido, esta amplitud total alcanza:

- $360^\circ$  cuando el miembro superior está vertical, a lo largo del tronco.
- $270^\circ$  cuando el miembro superior está en abducción de  $90^\circ$ .
- $270^\circ$  en flexión de  $90^\circ$ .
- Apenas sobrepasa los  $180^\circ$  cuando el miembro superior está vertical, en máxima abducción. Esto confirma que, en abducción de  $180^\circ$ , la rotación axial de la articulación del hombro es casi nula.



Se resume a continuación la utilidad de la pronosupinación. Entre los siete grados de libertad que comporta la cadena articular del miembro superior, del hombro a la mano, la pronosupinación es uno de los más importantes ya que es indispensable para el control de la actitud de la mano. De hecho, este control permite la colocación óptima de la mano para alcanzar un objeto en un sector esférico de espacio centrado en el hombro y llevarlo a la boca: la pronosupinación es por lo tanto indispensable para la función de alimentación. También permite que la mano alcance cualquier punto del cuerpo con una finalidad de protección o de higiene. Además, la pronosupinación desempeña un papel esencial en todas las acciones de la mano, y en particular durante el trabajo.

Gracias a la pronosupinación, la mano puede sujetar una bandeja o un objeto, en supinación (S), o bien comprimir un objeto hacia abajo o incluso apoyarse en pronación (P).

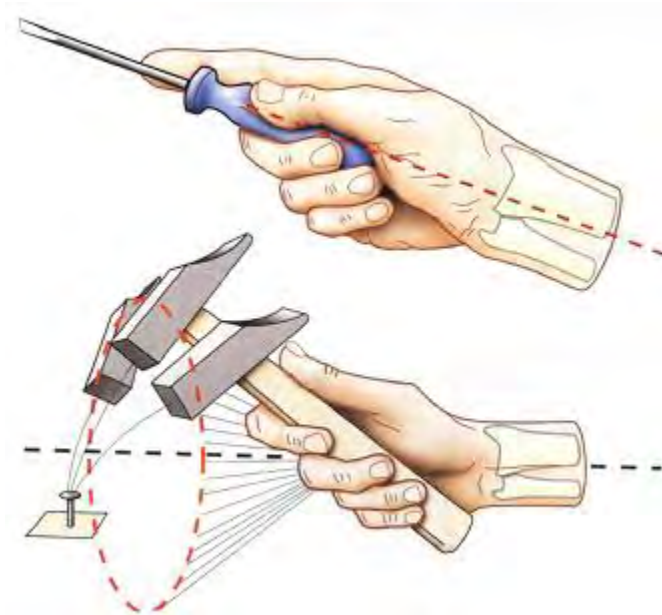


Posiciones de la mano que permite la pronosupinación.

También permite realizar un movimiento de rotación en las presas centradas y rotativas, como cuando se utiliza un destornillador en el que el eje del utensilio coincide con el eje de pronosupinación. Merced a la oblicuidad de la presa con toda la palma de la mano en contacto de los mangos, la pronosupinación modifica la orientación de la herramienta a través del mecanismo de la rotación cónica. A consecuencia de la asimetría de la mano, el mango puede situarse en el espacio sobre un segmento de cono centrado por el eje de pronosupinación, de modo que el martillo golpea el clavo bajo una incidencia regulable. En este caso, puede constatarse uno de los aspectos del acoplamiento funcional entre la pronosupinación y la articulación de la radiocarpiana, donde puede observarse otro ejemplo en la variación de la abducción-aducción de la muñeca en función de la pronosupinación: la actitud habitual de la mano en pronación o en posición intermedia es la inclinación cubital que *centra* la pinza tridigital sobre el eje de la pronosupinación,



mientras que en supinación la mano se coloca más bien en inclinación radial favoreciendo así la presa de sostén, como cuando se transporta una bandeja.



Movimientos de la mano que permite la pronosupinación.

## 6.6. MUÑECA Y MANO

### 6.6.1. INTRODUCCIÓN

El complejo articular de la muñeca comprende las múltiples articulaciones de los ocho huesos del carpo con la parte distal del radio, las estructuras dentro del espacio cubitocarpiano, los metacarpianos y entre sí. Las estructuras de tejido blando que rodean los huesos del carpo incluyen los tendones que atraviesan el carpo o se unen al mismo y las estructuras ligamentosas que conectan los huesos carpianos entre sí y a los elementos óseos de la mano y antebrazo.

Los ocho huesos del carpo se dividen en las filas proximal y distal. Los huesos de la fila distal de radial a cubital son el trapecio, el trapecoide, el grande y el ganchoso. La fila distal del carpo forma una unidad transversa relativamente inmóvil que se articula con los metacarpianos para formar las articulaciones carpometacarpianas. Los cuatro huesos de la fila distal se ajustan íntimamente entre sí y se mantienen juntos por firmes ligamentos interóseos. La fila proximal, más móvil, comprende el escafoides, el semilunar y el piramidal. Esta fila se articula con la parte distal del radio para formar la articulación radiocarpiana. El escafoides conecta tanto anatómica como funcionalmente ambas filas y articula exclusivamente con el radio. El semilunar articula en parte con las estructuras cubitales de tejido blando. El octavo hueso carpiano, el pisiforme, es un hueso sesamoideo que potencia mecánicamente el músculo más poderoso de la muñeca, el cubital anterior, y forma su propia y pequeña articulación con el piramidal. Entre las filas proximal y distal de los huesos carpianos se encuentra la articulación mediocarpiana, y entre los huesos adyacentes de estas filas se hallan las articulaciones intercarpianas. La superficie palmar de todo el carpo como unidad es cóncava, constituyendo el suelo y las paredes del túnel carpiano.

La pared distal del radio, el semilunar y el piramidal se articulan con la parte distal del cúbito por medio de una estructura ligamentosa y cartilaginosa, el complejo de fibrocartílagos triangular (CFCT) o cubitocarpiano.

Los dedos y el pulgar son los componentes básicos de la mano. Debido a que cada unidad digital se prolonga hacia la mitad de la mano, el término hilera digital se usa para indicar toda una cadena, compuesta por un metacarpiano y tres falanges (dos en el pulgar). Las hileras digitales se numeran del lado radial al cubital: I (pulgar), II (dedo índice), III (dedo corazón), IV (dedo anular), V (dedo meñique). Cada hilera digital se articula proximálmente con un hueso carpiano determinado en una articulación carpometacarpiana (CMC). La siguiente articulación en cada hilera, la articulación metacarpofalángica (MCF), une el hueso metacarpiano a la falange proximal. Entre las falanges de los dedos se encuentra una articulación interfalángica proximal (IFP) y una distal (IFD); el pulgar sólo

tiene una articulación interfalángica (IF). La eminencia tenar en la cara palmar del primer metacarpiano se forma por los músculos intrínsecos del pulgar. Su contrapunto cubital, la eminencia hipotenar, se crea por los músculos del meñique y un paquete adiposo superpuesto.

Los huesos de la mano se disponen en tres arcos, dos transversos y uno longitudinal<sup>13</sup>. El arco transverso proximal, con el grande como su hueso clave, discurre a nivel del carpo distal y está relativamente fijado. El arco distal transverso con la cabeza del tercer metacarpiano atraviesa todas las cabezas de los metacarpianos y es más móvil. Los dos arcos transversos se conectan por la porción rígida del arco longitudinal, compuesto por las cuatro hileras digitales y el carpo proximal. El segundo y tercer metacarpiano forma el pilar central de este arco<sup>14</sup>. El arco longitudinal se completa con las hileras digitales individuales, y la movilidad del pulgar y las hileras del cuarto y quinto dedo alrededor del segundo y tercer dedo permiten que la palma se aplane o ahueque para adaptarse a objetos de distintos tamaños y formas<sup>15</sup>.

Aunque los músculos flexores y extensores extrínsecos son responsables en gran medida de cambiar la forma de la mano en uso, los músculos intrínsecos de la mano son principalmente responsables de mantener la configuración de los tres arcos.

#### 6.6.2. MOVIMIENTO DE LA MUÑECA

Las articulaciones del complejo de la muñeca permiten el movimiento en dos planos; flexión-extensión (flexión palmar y flexión dorsal) en el plano sagital y desviación radial-cubital (abducción-aducción) en el plano frontal. Las combinaciones de estos movimientos también son posibles, el mayor rango de movimiento de la muñeca tiene lugar desde la desviación radial y extensión hasta la desviación cubital y flexión.

Aunque son posibles pequeñas cantidades de rotación axial y pueden existir en las muñecas de algunos individuos, desde un punto de vista práctico, tal rotación no se produce en el complejo carpo<sup>16</sup>. La rotación axial de la mano, expresada como pronación y supinación, es el resultado del movimiento que surge en las articulaciones radiocubital y radiohumeral proximal y distal<sup>17</sup>.

---

<sup>13</sup> Flatt, 1974; Tubiana, 1984

<sup>14</sup> Flatt, 1974

<sup>15</sup> Strickland, 1987

<sup>16</sup> Volz, 1976; Youm *et al.*, 1978

<sup>17</sup> Volz *et al.*, 1980

#### 6.6.2.1. FLEXIÓN Y EXTENSIÓN

El rango normal de movimiento de la muñeca va desde 65 a 80° de flexión y de 55 a 75° de extensión, pero puede variar ampliamente entre los individuos. Debido a la ligera báscula palmar de las superficies radiales distales, la flexión excede a la extensión con una media de 10°. Se ha observado<sup>18</sup> que aproximadamente el 60% de la flexión se produce en la articulación mediocarpiana y el 40% en la articulación radiocarpiana, mientras aproximadamente el 67% de la extensión tiene lugar en la articulación radiocarpiana y el 33% en la articulación mediocarpiana.

#### 6.6.2.2. DESVIACIÓN RADIAL Y CUBITAL

El rango total de desviación radial-cubital es de aproximadamente 65°, de 15 a 25° en la dirección radial y de 30 a 45° en la dirección cubital.

#### 6.6.2.3. PRONACIÓN Y SUPINACIÓN DEL ANTEBRAZO

El rango de movimiento medio de la pronación-supinación del antebrazo a través de las articulaciones IFP, la radiocubital distal y las medioromerales, es de 150° (60-80° de pronación y 60-85° de supinación).

#### 6.6.2.4. MOVIMIENTO FUNCIONAL DE LA MUÑECA

Debido a que las articulaciones proximales a la muñeca pueden proporcionar movimiento compensatorio, incluso una pérdida considerable de movimiento de la muñeca puede no interferir significativamente con las actividades de la vida diaria. Un estudio electrogoniométrico del rango de flexión-extensión de muñeca requerido para acometer 14 actividades mostraron que un arco de 45° (de 10° de flexión a 35° de extensión) era suficiente para llevar a cabo la mayoría de ellas<sup>19</sup>.

Los movimientos de la muñeca se efectúan en torno a dos ejes, con la mano en posición anatómica, es decir en máxima supinación:

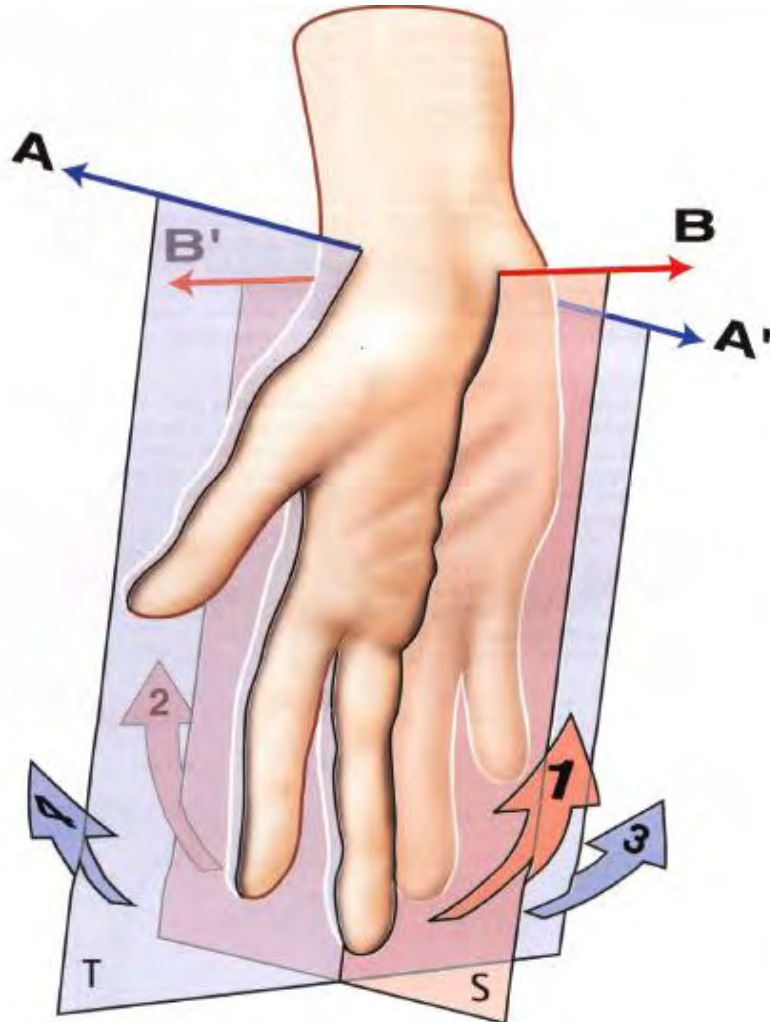
- Un eje AA', transversal, perteneciente al plano frontal T. En torno a este eje se realizan los movimientos de flexoextensión en el plano sagital:
  - Flexión (flecha 1): la cara anterior o palmar de la mano se aproxima a la cara anterior el antebrazo.
  - Extensión (flecha 2): la cara posterior o dorsal de la mano se aproxima a la cara posterior del antebrazo.

---

<sup>18</sup> Sarrafian *et al.*, 1977

<sup>19</sup> Brumfield y Champoux, 1984

- Un eje BB', anteroposterior, perteneciente al plano sagital S. En torno a este eje, en el plano frontal, se efectúan los movimientos de aducción-abducción:
  - Aducción o inclinación cubital (flecha 3): la mano se aproxima al eje del cuerpo y su borde interno, o borde cubital (el del meñique), forma, con el borde interno del antebrazo, un ángulo obtuso abierto hacia dentro.
  - Abducción o inclinación radial (flecha 4): la mano se aleja del eje del cuerpo y su borde externo, o borde radial (el del pulgar), forma, con el borde externo del antebrazo, un ángulo obtuso abierto hacia fuera.



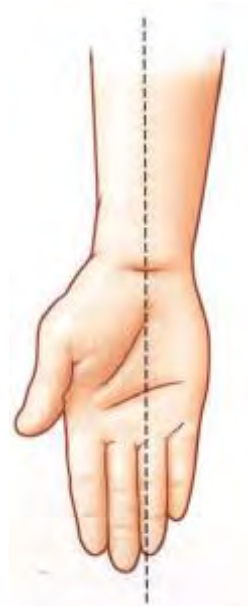
Ejes y planos de movimientos de la muñeca.

En realidad, los movimientos naturales de la muñeca son movimientos combinados en torno a ejes oblicuos:

- Flexión/Aducción.
- Extensión/Abducción.

#### 6.6.2.5. AMPLITUD DE MOVIMIENTOS DE LA MUÑECA

Para los movimientos de abducción-aducción, la amplitud de los movimientos se mide a partir de la posición anatómica. El eje de la mano, representado por el tercer metacarpiano y el tercer dedo, se localiza en la prolongación del eje del antebrazo.



Posición anatómica de la muñeca para movimientos de abducción-aducción.

La amplitud del movimiento de abducción o inclinación radial no sobrepasa los  $15^\circ$ .

La amplitud de aducción o inclinación cubital es de  $45^\circ$ , cuando se mide el ángulo en la línea que une el centro de la muñeca con la porción distal del tercer dedo (línea azul a trazos).

Sin embargo, esta amplitud difiere según se considere el eje de la mano, en cuyo caso es de  $30^\circ$  o el eje del dedo corazón, en cuyo caso es de  $55^\circ$ . Esto se debe a que la aducción de la mano se asocia con la aducción de los dedos.

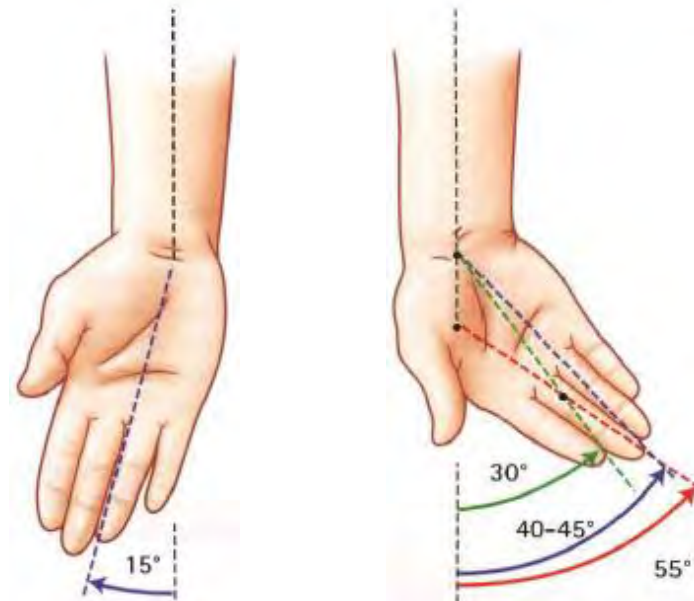
No obstante, en la práctica, puede considerarse la amplitud de la aducción de  $45^\circ$ . Se deben recalcar varios hechos:

- La aducción o inclinación cubital es de dos a tres veces mayor que la inclinación radial.
- La aducción o inclinación cubital es mayor en supinación que en pronación<sup>20</sup>, donde no sobrepasa los  $10^\circ$ .

---

<sup>20</sup> Sterling Bunnell

En general, la amplitud de los movimientos de aducción-abducción es mínimo en flexión forzada o en extensión de muñeca, posiciones en las que los ligamentos del carpo están tensos. Es máxima en la posición anatómica o en ligera flexión, ya que los ligamentos se distienden.



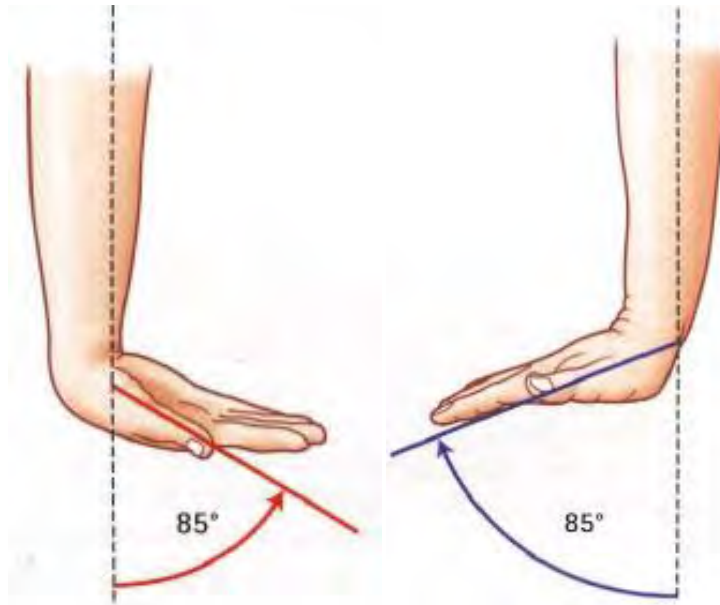
Amplitud del movimiento de abducción y aducción de la muñeca.

Para los movimientos de flexoextensión, la amplitud de los movimientos se mide a partir de la posición anatómica: muñeca alineada, cara dorsal de la mano en la prolongación de la cara posterior del antebrazo.



Posición anatómica de la muñeca para movimientos de flexoextensión.

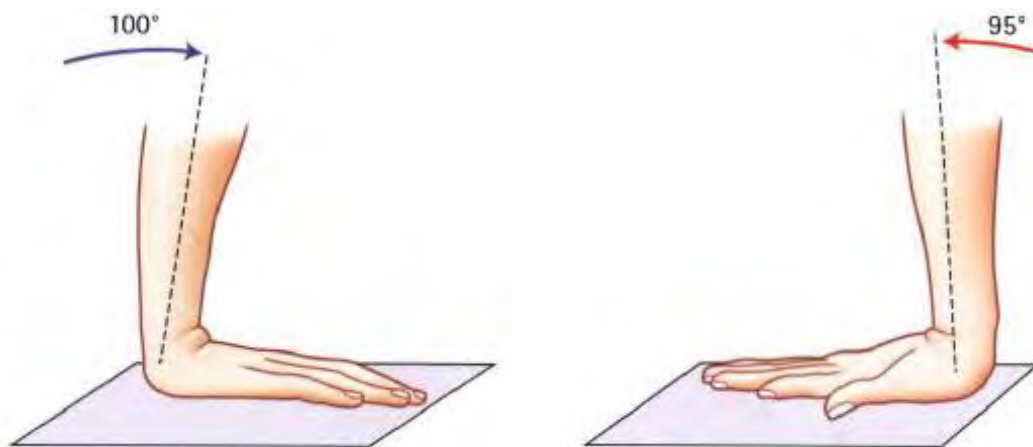
La amplitud de la flexión activa es de  $85^\circ$ , es decir que apenas alcanza los  $90^\circ$ . Y la amplitud de la extensión, también es de  $85^\circ$ , de modo que tampoco alcanza los  $90^\circ$ .



Amplitud de la flexión y extensión activa de la muñeca.

Como en el caso de los movimientos laterales, la amplitud de los movimientos depende del grado de distensión de los ligamentos del carpo. La flexoextensión es máxima cuando la mano no está ni en abducción ni en aducción.

En los movimientos pasivos de flexoextensión la amplitud de la flexión pasiva es mayor de  $90^\circ$  en pronación ( $100^\circ$ ). Y la amplitud de la extensión pasiva es mayor de  $90^\circ$  tanto en pronación como en supinación ( $95^\circ$ ).



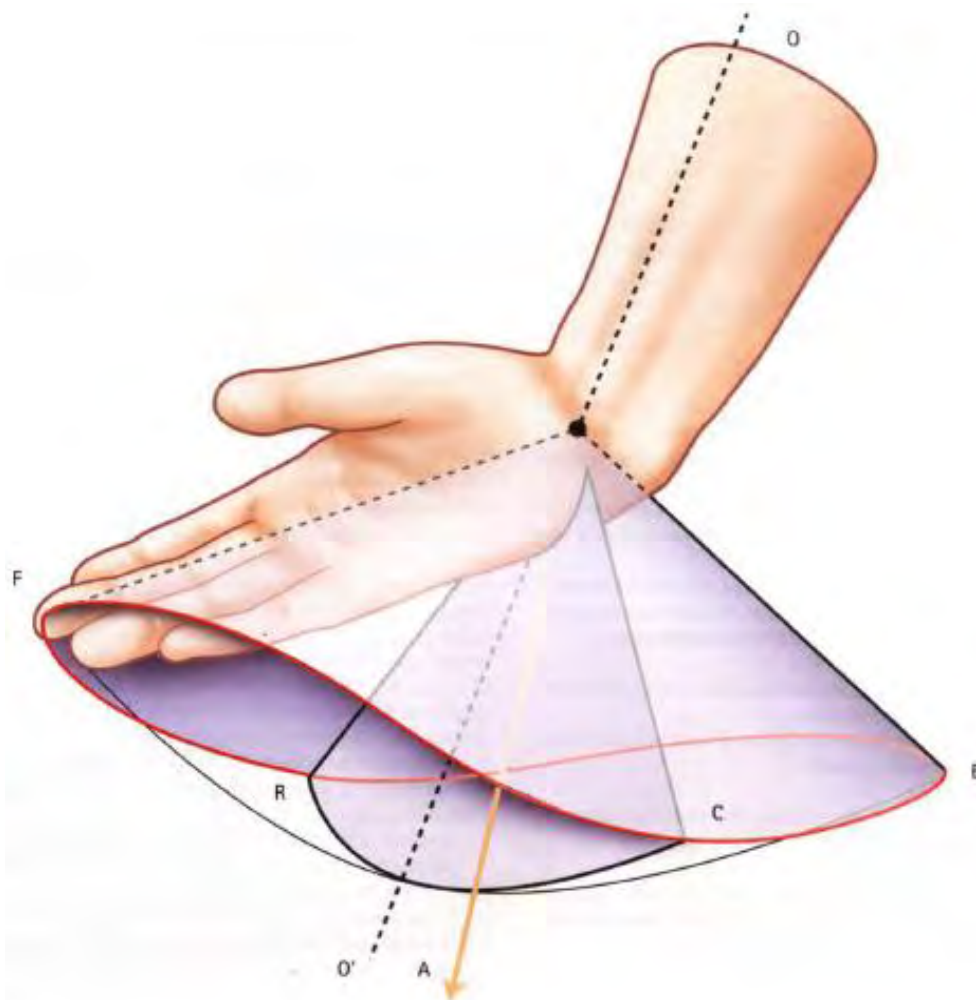
Amplitud de la flexión y extensión pasiva de la muñeca.



#### 6.6.2.6. MOVIMIENTO DE CIRCUNDUCCIÓN DE LA MUÑECA

Este movimiento se define como la combinación de los movimientos de flexoextensión con los movimientos de aducción-abducción. Se trata pues de un movimiento que se realiza simultáneamente, en relación a los dos ejes de la articulación de la muñeca.

Cuando el movimiento de circunducción alcanza su máxima amplitud, el eje de la mano describe una superficie cónica en el espacio, denominada *cono de circunducción*. Dicho cono tiene un vértice O, localizado en el centro de la muñeca, y una base, representada en la siguiente figura por los puntos F, R, E y C, que describen la trayectoria que recorre la punta del dedo corazón durante el movimiento de máxima circunducción.



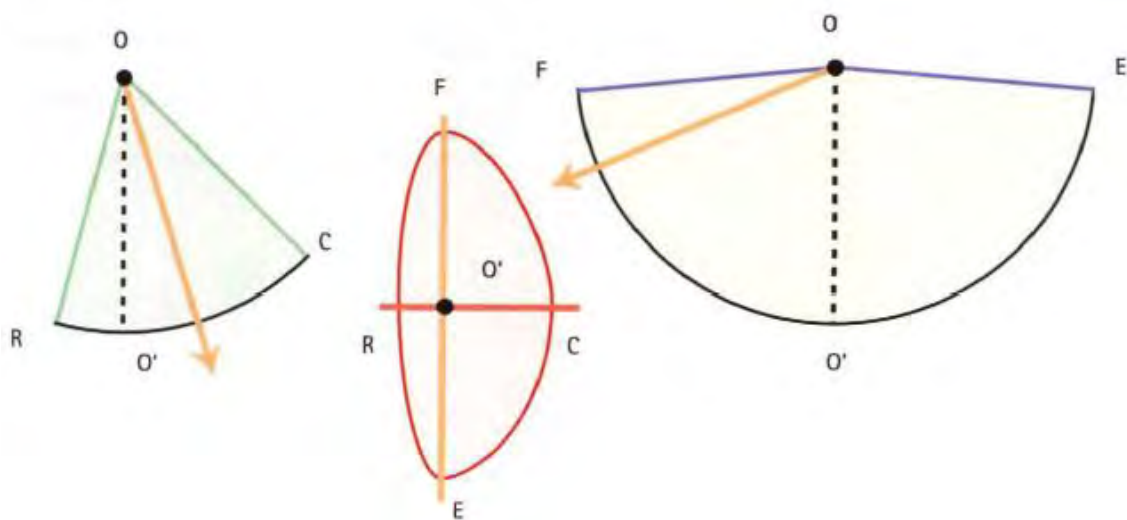
Cono de circunducción de la muñeca.

Además, el citado cono no es regular, su base no es circular. Esto se debe a que la amplitud de los distintos movimientos elementales no es simétrica con respecto a la prolongación del eje del antebrazo  $OO'$ . Siendo la amplitud máxima en el plano sagital FOE y mínima en el plano frontal ROC, el cono es aplanado en sentido transversal y su base se puede comparar a una elipse con un eje mayor anteroposterior FE.

Incluso está deformada hacia la parte interna, debido a la mayor amplitud de la inclinación cubital. En consecuencia, el eje del cono de circunducción OA no se confunde con OO', sino que se halla en inclinación cubital de  $15^\circ$ . Por otra parte, la posición de la mano en aducción de  $15^\circ$  corresponde a la posición de equilibrio entre los músculos que dirigen la inclinación. Es un elemento de la posición funcional.

Además de la base del cono de circunducción, puede apreciarse:

- El corte del cono por el plano frontal con la posición de abducción R y de aducción C y el eje del cono de circunducción OA.
- El corte del cono por el plano sagital con la posición de flexión F y la posición de extensión E.



Corte del cono por el plano frontal, base del cono de circunducción y corte del cono por el plano sagital.

La amplitud de los movimientos de la muñeca es menor en pronación que en supinación, de modo que el cono de circunducción está menos *abierto* en pronación.

Sin embargo, gracias a los movimientos asociados de pronosupinación, el aplanamiento del cono de circunducción puede compensarse en cierta medida, y el eje de la mano puede ocupar todas las posiciones en el interior de un cono cuyo ángulo de apertura es de  $160$  a  $170^\circ$ .

Además, como en todas las articulaciones tipo cardan, de dos ejes y dos grados de libertad, un movimiento simultáneo o sucesivo en torno a dos ejes conlleva una rotación automática o incluso una rotación conjunta<sup>21</sup> en torno al eje longitudinal del segmento móvil, es decir de la mano, que orienta la palma en una dirección oblicua en relación al

---

<sup>21</sup> Mac Conaill

plano de la cara anterior del antebrazo. Esto no es evidente más que en las posiciones de extensión-aducción y de flexión-aducción, aunque no tiene la misma importancia funcional que en el caso del pulgar.

### 6.6.3. DEDOS

El segundo y tercer metacarpiano se unen al trapecoide y al grande y entre sí mediante la íntima congruencia de unas articulaciones básicamente inmóviles. Como resultado, estos huesos metacarpianos y carpianos constituyen la *unidad inmóvil* de la mano. Las articulaciones del cuarto y quinto metacarpianos con el ganchoso permiten una modesta cantidad de movimiento: de 10 a 15° de flexión-extensión en la cuarta articulación CMC y de 20 a 30° en la quinta. Puede producirse el desplazamiento palmar limitado, o descenso, de estos metacarpianos. Este movimiento permite el ahuecamiento de la mano y es esencial para la toma.

Las articulaciones MCF de los cuatro dedos son articulaciones diartrodias unicondilares, permitiendo el movimiento en tres planos: flexión-extensión (plano sagital), abducción-aducción (plano frontal) y ligera pronación-supinación (plano transversal), que se acopla con la abducción-aducción<sup>22</sup>.

El rango de flexión MCF desde la posición cero es aproximadamente 90°, pero este valor difiere entre los dedos. El meñique demuestra la mayor flexión (aproximadamente 95°), y el índice unos 70°. La extensión más allá de la posición cero varía considerablemente y depende de la laxitud articular.

Las articulaciones IFP y distales de los cuatro dedos son articulaciones bicondilares en bisagra como consecuencia del ajuste prominencia-surco de sus superficies articulares. Estas superficies son muy congruentes a lo largo del rango de flexión-extensión, que es el único movimiento posible en estas articulaciones. La flexión se mide desde la posición cero con el dedo en el plano de la mano. El mayor rango de flexión, 110° o más, se produce en la articulación IFP. La flexión de aproximadamente 90° tiene lugar en la articulación IFD. La extensión más allá de la posición cero, denominada hiperextensión, es una característica regular de las articulaciones IFD e IFP, aunque depende en gran medida de la laxitud ligamentosa, especialmente en la articulación IFP.

---

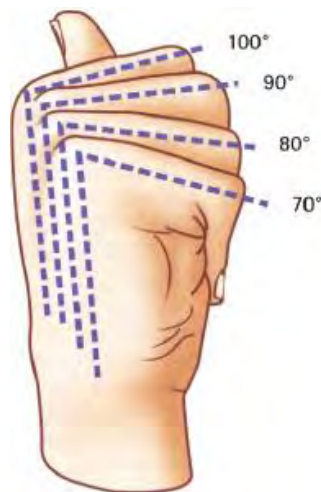
<sup>22</sup> Hagert, 1981

#### 6.6.3.1. MOVIMIENTO DE LOS DEDOS

Las distintas formas de las articulaciones CMC, MCF e IF de los dedos son los responsables de las diferencias en los grados de libertad de estas articulaciones. La orientación única del pulgar, la gran comisura y la configuración especial de la articulación CMC del pulgar permite la gran movilidad y versatilidad de este dedo.

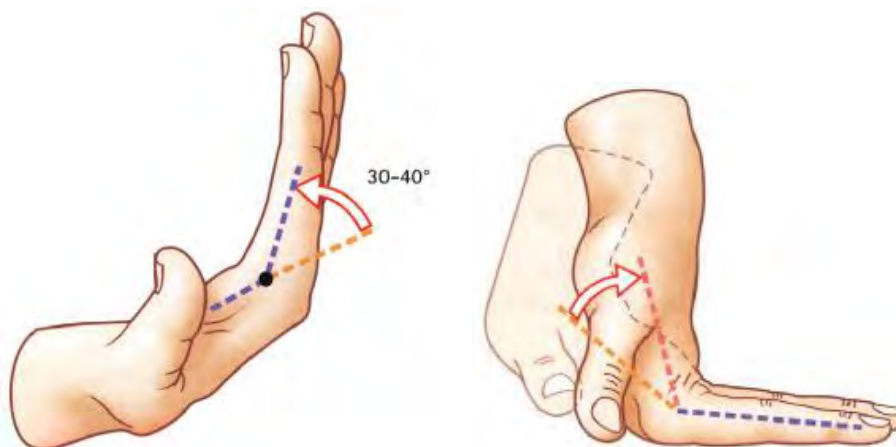
#### 6.6.3.2. AMPLITUD DE MOVIMIENTO DE LAS ARTICULACIONES METACARPOFALÁNGICAS DE LOS DEDOS DE LA MANO

La amplitud de la flexión es aproximadamente de  $90^\circ$ , si bien cabe recalcar que aunque alcanza los  $90^\circ$  justos en el caso del dedo índice, aumenta progresivamente hasta el quinto dedo. Además, la flexión aislada de un dedo (en este caso el dedo corazón) está limitada por la tensión del ligamento palmar interdigital.



Amplitud de la flexión de las articulaciones metacarpofalángicas.

La amplitud de la extensión activa varía según individuos. Puede alcanzar de  $30$  a  $40^\circ$ . La extensión pasiva puede alcanzar casi los  $90^\circ$  en individuos con una gran laxitud ligamentosa.



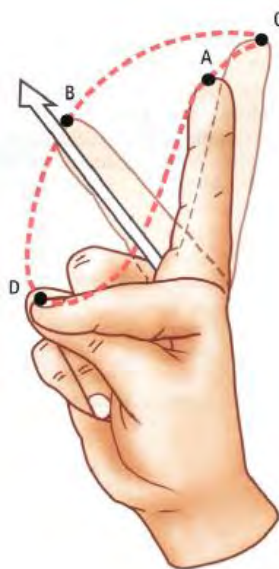
Amplitud de la extensión activa y pasiva de las articulaciones metacarpofalángicas.

De todos los dedos, excepto el dedo pulgar, el dedo índice es el que posee la mayor amplitud de movimiento en sentido lateral  $30^\circ$  y, como es fácil moverlo de forma aislada, se puede, a este propósito, hablar de abducción A y de aducción B. El dedo índice debe su denominación, índice significa indicador, a esta movilidad privilegiada.



Amplitud de movimiento en sentido lateral del dedo índice.

Combinando movimientos en distintos grados de abducción A, aducción B y de extensión C, flexión D, el dedo índice puede realizar movimientos de circunducción. Dichos movimientos quedan circunscritos al interior del cono de circunducción definido por su base ACBD y su vértice la articulación metacarpofalángica. Este cono está aplanado transversalmente debido a la mayor amplitud de los movimientos de flexoextensión. Su eje (flecha blanca) representa la posición de equilibrio o funcional.



Movimiento de circunducción del dedo índice.

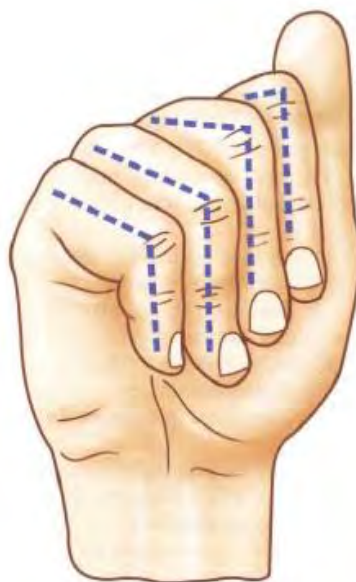
Las articulaciones de tipo condíleo no poseen normalmente el tercer grado de libertad (rotación longitudinal). Es el caso de las articulaciones metacarpofalángicas de los cuatro últimos dedos que no poseen rotación longitudinal activa.

No obstante, la laxitud ligamentosa permite cierta amplitud de rotación axial pasiva en el dedo índice. Su amplitud es de  $60^\circ$  aproximadamente). Es necesario recalcar que en el caso del dedo índice, la amplitud de la rotación axial pasiva interna, o pronación, es mucho mayor  $45^\circ$  que la amplitud de la rotación axial externa en supinación que es casi inexistente.

Si no poseen movimiento de rotación longitudinal activa individualizada, las articulaciones metacarpofalángicas poseen, sin embargo, debido a la asimetría del cóndilo metacarpiano y de la desigualdad de tensión y de longitud de los ligamentos laterales, un movimiento de rotación longitudinal automática en el sentido de la supinación. Este movimiento cuyo mecanismo es idéntico al de la articulación interfalángica del pulgar, es tanto más acentuado cuanto más interno sea el dedo, de modo que es máximo en el caso del dedo meñique donde se integra en el movimiento de oposición simétrica al del dedo pulgar de la articulación metacarpofalángica del dedo índice.

#### 6.6.3.3. AMPLITUD DE MOVIMIENTO DE LAS ARTICULACIONES INTERFALÁNGICAS DE LOS DEDOS DE LA MANO

La amplitud de la flexión en las articulaciones interfalángicas proximales sobrepasa los  $90^\circ$ . Por consiguiente,  $F_1$  Y  $F_2$  forman entre sí un ángulo agudo. Como en el caso de las articulaciones metacarpofalángicas, esta amplitud de flexión aumenta progresivamente del segundo al quinto dedo, para alcanzar los  $135^\circ$  en el dedo meñique.



Amplitud de la flexión en las articulaciones interfalángicas proximales.

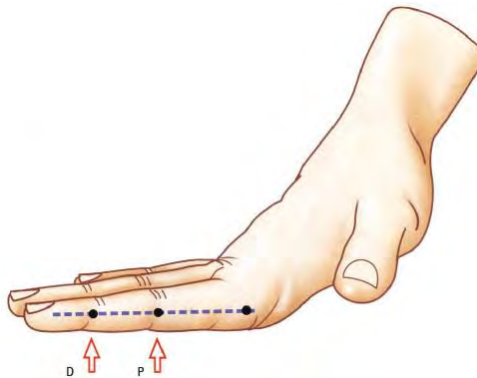
La amplitud de la flexión en las articulaciones interfalángicas distales es ligeramente inferior a  $90^\circ$ . El ángulo entre  $F_2$  y  $F_3$  permanece obtuso. Como en el caso anterior, está amplitud aumenta del segundo al quinto dedo, para alcanzar los  $90^\circ$  en el dedo meñique.



Amplitud de la flexión en las articulaciones interfalángicas distales.

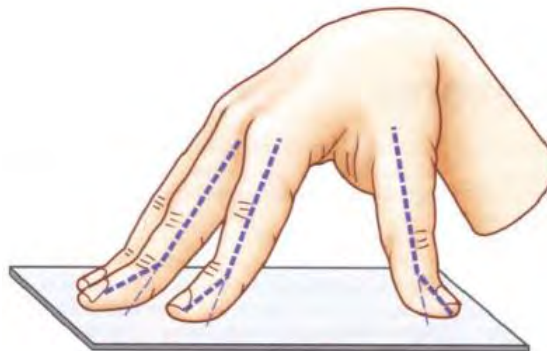
La amplitud de la extensión activa en las articulaciones interfalángicas es:

- Inexistente en las articulaciones proximales P.
- Inexistente o muy pequeña  $5^\circ$  en las articulaciones distales D.



Amplitud de la extensión activa en las articulaciones interfalángicas.

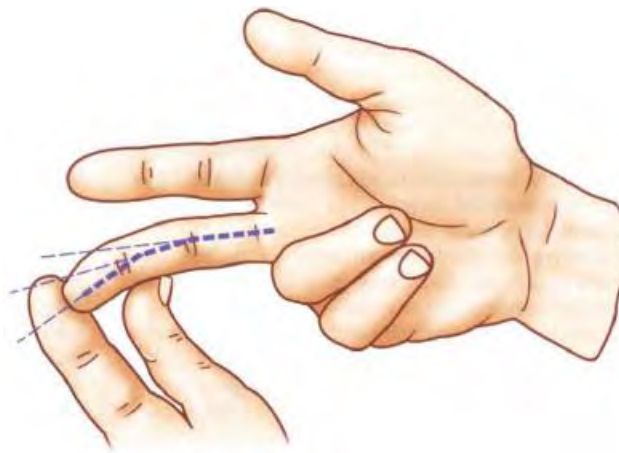
La extensión pasiva es inexistente en la articulación interfalángica proximal, pero bastante acentuada  $30^\circ$  en la articulación interfalángica distal.



Extensión pasiva en la articulación interfalángica proximal.



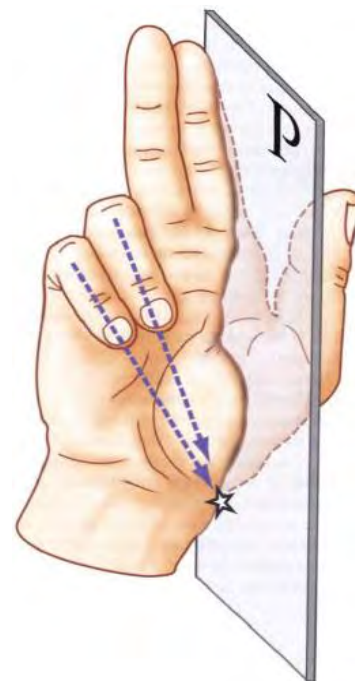
Las articulaciones interfalángicas no poseen más que un grado de libertad, en su caso, no existen movimientos activos de lateralidad. Sí existen algunos movimientos pasivos de lateralidad en el caso de la articulación interfalángica distal, por el contrario, la articulación interfalángica proximal es bastante estable lateralmente, lo que explica el trastorno que conlleva una ruptura de un ligamento lateral a su nivel.



Movimiento pasivo de lateralidad de la articulación interfalángica distal.

Un punto importante es el plano en el que se efectúa la flexión de los cuatro últimos dedos:

- El dedo índice se flexiona directamente en el plano sagital P, hacia la base de la eminencia tenar.
- Los tres últimos dedos se flexionan, no como el dedo índice en el plano sagital, sino en una dirección tanto más oblicua cuanto más interno sea el dedo.
- En cuanto al dedo meñique y al dedo anular, esta dirección oblicua está representada en el esquema por las flechas hacia la estrella. Gracias a esta flexión oblicua los dedos más internos pueden oponerse al dedo pulgar del mismo modo que lo hace el dedo índice.



Plano de flexión de los cuatro últimos dedos



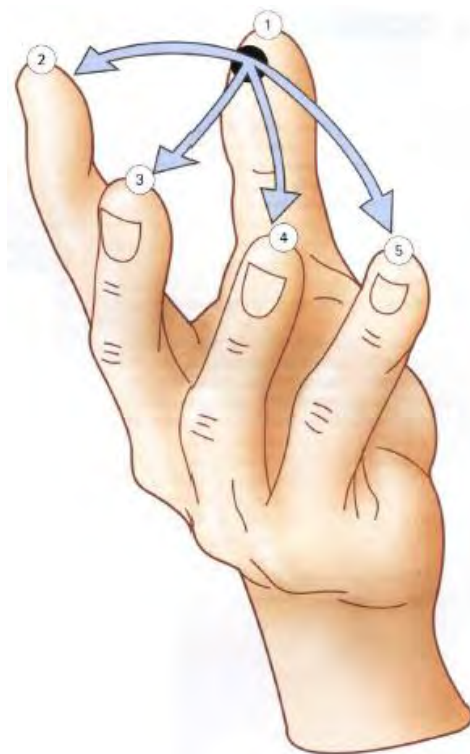
En la realidad, los ejes de flexión de las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas no son fijos ni inmutables. Perpendiculares en máxima extensión, se convierten progresivamente en oblicuos en el transcurso de la flexión. Se dice entonces que son evolutivos.

La evolutividad de los ejes de flexión de las articulaciones de los dedos se debe a la asimetría de las superficies articulares metacarpianas y falángicas y a la puesta en tensión diferencial de los ligamentos laterales.

#### 6.6.4. PULGAR

El pulgar ocupa una posición y desempeña una función aparte en la mano puesto que es indispensable para realizar las pinzas pulgodigitales con cada uno de los restantes dedos, y en particular con el dedo índice, y también para la constitución de una presa de fuerza con los otros cuatro dedos. También puede participar en acciones asociadas a las presas que conciernen a la propia mano. Sin el pulgar, la mano pierde la mayor parte de sus posibilidades.

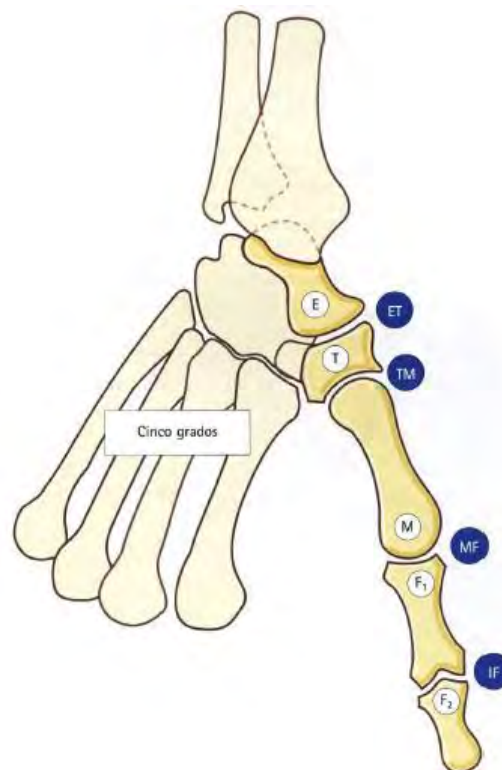
El pulgar debe esta función eminente, por una parte, a su localización por delante tanto de la palma de la mano como de los otros dedos que le permite, en el movimiento de oposición, dirigirse hacia los otros dedos, de forma aislada o global, o separarse por el movimiento de contra-oposición para relajar la presa. Por otra parte, debe su función a la gran flexibilidad funcional que le proporciona la organización tan peculiar de su columna articular y de sus motores musculares.



Movimiento de oposición del pulgar.

La columna osteoarticular del pulgar contiene cinco piezas óseas que constituyen el radio externo de la mano:

- El escafoide E.
- El trapecio T que los embriólogos consideran el equivalente de un metacarpiano.
- El primer metacarpiano M.
- La primera falange  $F_1$ .
- La segunda falange  $F_2$ .



Columna osteoarticular del pulgar.

El pulgar sólo incluye anatómicamente dos falanges pero, hecho importante, su columna se articula con la mano en un punto mucho más proximal que en el caso de los otros dedos. Su columna es, pues, claramente más corta y su extremo sólo alcanza la parte media de la primera falange del dedo índice. Esta es su longitud óptima ya que si fuese más corto, como sería el caso tras una amputación falángica, pierde sus posibilidades de oposición por no tener ni suficiente longitud, ni suficiente separación, ni suficiente flexión global. Y si fuese más largo, como sería el caso de una malformación congénita con tres falanges, la oposición fina terminoterminal puede verse perturbada por la flexión insuficiente de la articulación interfalángica distal del dedo al que se opone.

Esto es, pues, un ejemplo del principio de economía universal<sup>23</sup>, conocido también bajo la denominación de Navaja de Okbam, según el cual cualquier función está garantizada por la mínima estructura y organización. Para una función óptima del pulgar, son necesarias y suficientes cinco piezas.

Las articulaciones de la columna del pulgar son cuatro:

- La articulación trapezoescafoidea TE artrodia que permite que el trapecio efectúe un corto desplazamiento hacia delante sobre la carilla inferior, que se apoya sobre el tubérculo del escafoides. En este caso se esboza un movimiento de flexión de escasa amplitud.
- La articulación trapezometacarpiana TM dotada de dos grados de libertad.
- La articulación metacarpofalángica MF que posee dos grados de libertad.
- La articulación interfalángica IF con un único grado de libertad.

En total cinco grados de libertad necesarios y suficientes para realizar la oposición del pulgar.

#### 6.6.4.1. LA OPOSICIÓN DEL PULGAR

La oposición del pulgar es la facultad para desplazar la yema del pulgar para contactar con las yemas del resto de los cuatro dedos para realizar lo que se ha venido a considerar la pinza pulgodigital. Por lo tanto, no existe una única oposición sino toda una gama de oposiciones que realizan una gran variedad de presas y de acciones según el número de dedos implicados y su modalidad de asociación. El pulgar no adquiere todo su significado funcional más que en relación a los otros dedos y viceversa. Este movimiento representa lo esencial del valor funcional de la mano, su pérdida conlleva la práctica inutilidad de la mano, hasta el punto de que se realizan complejas intervenciones quirúrgicas con el objetivo de restaurar la citada pinza partiendo de los elementos restantes (operación de pulgarización de un dedo).

En el movimiento de oposición, el pulgar acude al encuentro de otro dedo, el dedo índice con mayor frecuencia. Esta acción es la suma de tres componentes elementales:

- La antepulsión del primer metacarpiano y, de forma accesoria, de la primera falange.
- La aducción del primer metacarpiano y la inclinación lateral de la primera falange sobre el metacarpiano hacia su borde radial; estas acciones son más acusadas cuanto la oposición se efectúa con un dedo más interno. Por lo tanto, son máximas

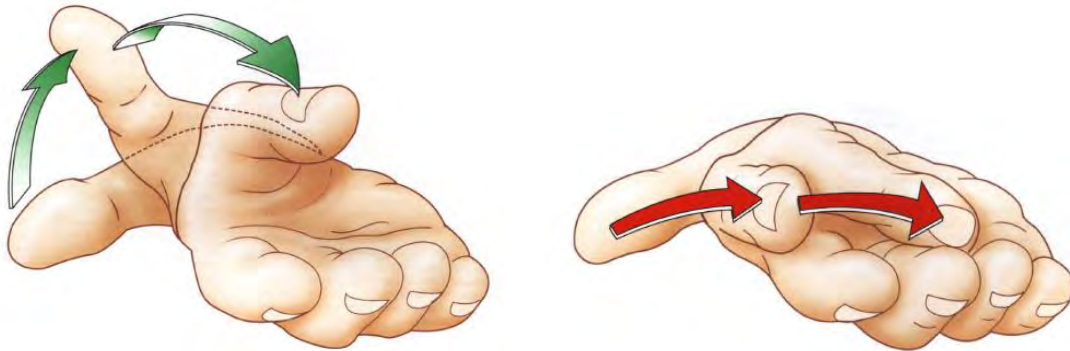
---

<sup>23</sup> Principio de Okham

en la oposición pulgar-dedo meñique.

- La rotación longitudinal del metacarpiano y de la primera falange en sentido de la pronación.

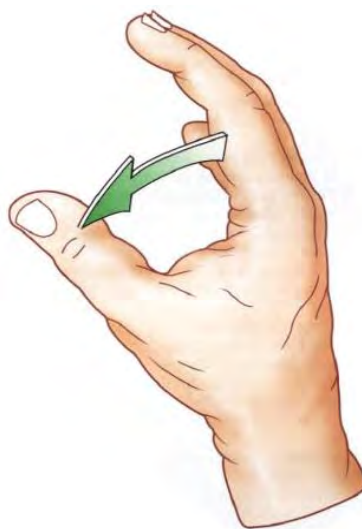
Todos los tipos de oposición están incluidos en el interior de un sector cónico de espacio en cuyo vértice se localiza la articulación trapezometacarpiana, o cono de oposición. A decir verdad, este cono está bastante deformado ya que su base está limitada, como definieron J. Duparc y JY. de la Caffinière, por los *trayectos mayor y menor de oposición*.



Trayectos mayor y menor de oposición del pulgar.

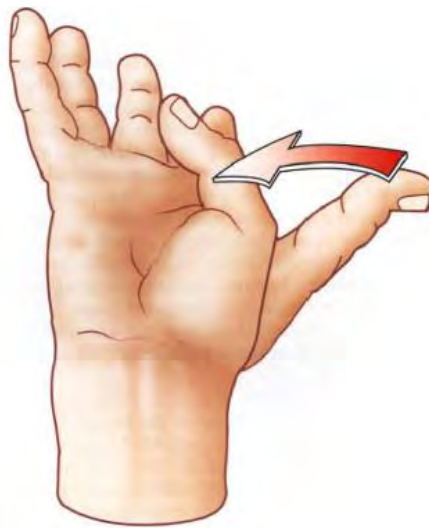
Desde el punto de vista mecánico, la oposición del pulgar es un movimiento complejo que asocia, en diversos grados, tres componentes: la anteposición, la flexión y la pronación de la columna osteoarticular del pulgar.

- La anteposición o proyección **A** es el movimiento que desplaza el pulgar por delante del plano de la palma de la mano, de modo que la eminencia tenar constituye entonces un cono en el ángulo superoexterno de la mano. Se efectúa principalmente en la articulación trapezometacarpiana y de manera accesorio en la articulación metacarpofalángica, donde la inclinación radial acentúa la alineación de la columna del pulgar.



Anteposición del pulgar.

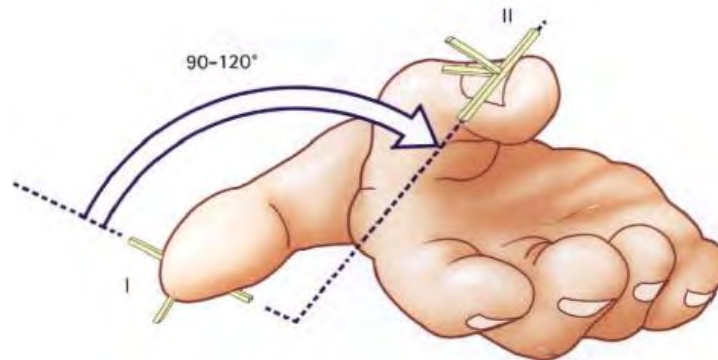
- La flexión **F** desplaza toda la columna del pulgar hacia dentro:
  - Principalmente la articulación trapezometacarpiana, pero no puede desplazar el primer metacarpiano más allá del plano sagital que pasa por el eje longitudinal del segundo. Se trata de un movimiento de flexión ya que se continúa con la flexión de la segunda articulación.
  - La articulación metacarpofalángica que añade su flexión a diversos grados según el dedo *enfocado* por el pulgar en su movimiento de oposición.
  - Por último, la articulación interfalángica se flexiona para aportar el *toque final* prolongando la acción de la articulación metacarpofalángica de modo que alcance su objetivo.



Flexión del pulgar.

- La pronación, componente esencial de la oposición del pulgar, merced a la cual los pulpejos pueden contactar uno con otro, se puede definir como el cambio de actitud de la última falange del pulgar que *mira* en direcciones diferentes según su grado de rotación sobre su eje longitudinal. La denominación de pronación se debe a la analogía con el movimiento del antebrazo y se realiza en el mismo sentido. Esta rotación de la primera falange sobre su eje longitudinal es el resultado de la actividad de la columna del pulgar en conjunto, donde todas las articulaciones están implicadas en grados y por mecanismos diversos. El experimento de las cerillas de SterJing Bunnell lo pone de manifiesto. Tras haber pegado una cerilla transversalmente en la base de la uña del pulgar, y observando la mano *de pie*, se mide un ángulo de 90 a 120° entre su posición inicial **I**, mano plana, y su posición final **II**, posición de máxima oposición, pulgar contra meñique. En principio, se pensó que la rotación de la columna del pulgar sobre su eje longitudinal se efectuaba gracias a la laxitud de la cápsula de la articulación trapezometacarpiana. No obstante, trabajos recientes demuestran que durante la oposición es cuando la articulación está más *cerrada* y el juego mecánico es menor. En la actualidad se

sabe que si lo esencial de la rotación proviene de la articulación trapezometacarpiana, es gracias a otro mecanismo, el del *cardán* de esta articulación de dos ejes. Por consiguiente, una prótesis de dos ejes de la articulación trapezometacarpiana realizada siguiendo estos principios, desempeña perfectamente su función permitiendo una oposición normal.



Pronación del pulgar.

#### 6.6.5. TIPOS DE PRENSIÓN

La compleja organización anatómica y funcional de la mano converge en la prensión. Sin embargo, no existe un solo tipo de prensión, sino varios que se clasifican en tres grandes grupos y estos a la vez en subgrupos:

- Presas o pinzas
  - Digitales
    - Bidigitales
      - Terminal
      - Subterminal
      - Subterminolateral
      - Interdigital laterolateral
    - Pluridigitales: Las presas pluridigitales hacen intervenir, además del pulgar, los otros dos, tres o cuatro dedos. Permiten una prensión mucho más firme que la bidigital que persiste como presa de precisión.
      - Tridigitales
      - Tetradigitales
      - Pentadigitales
  - Palmares.
    - Digitopalmar
    - Totalidad de la palma
  - Centradas
- Presas con la gravedad
- Presas con acción

Los movimientos prensiles de la mano son aquellos en los que se agarra un objeto y se mantiene en parte o de forma entera dentro del ámbito de la mano. Tales movimientos se usan en un rango amplio de actividades finales implicando el manejo de objetos de todas formas y tamaños. La función prensil eficiente depende de una multitud de factores, siendo los más importantes los siguientes:

- La movilidad de la primera articulación CMC y, en menor grado, de la cuarta y quinta articulación MCF.
- La rigidez relativa de la segunda y tercera articulación CMC.
- La estabilidad de los arcos longitudinales de los dedos y el pulgar.
- El sinergismo y antagonismo equilibrado entre los músculos extrínsecos largos y los músculos intrínsecos de la mano.
- La aferencia sensorial adecuada de todas las áreas de la mano.
- Las precisas relaciones entre la longitud, movilidad y posición de cada hilera de dedos.

Se han realizado muchos intentos para clasificar los patrones de función prensil de la mano. Se han identificado<sup>24</sup> dos patrones distintos del movimiento de prensión en la mano normal: la toma de fuerza y la toma de precisión. Destacó que requisito fundamental para la prensión, la estabilidad, puede conseguirse en ambas posturas.

La toma de fuerza, o el agarre de fuerza, es un acto vigoroso llevado a cabo con los dedos flexionados en las tres articulaciones de modo que se mantiene un objeto entre los dedos y la palma, con el pulgar posicionado sobre la cara palmar del objeto para asegurarlo sobre la palma. Normalmente se desarrolla con la muñeca ligeramente en desviación cubital y dorsiflexión para aumentar la tensión de los tendones flexores.

La toma de precisión implica la manipulación de pequeños objetos entre el pulgar y las caras flexoras de los dedos de una manera finamente controlada. La posición de la muñeca varía de modo que aumenta el rango manipulativo. Los dedos están en una posición semiflexionada, y el pulgar se abduce palmarmente y se opone. Ciertas actividades prensiles implican tomas de fuerza y de precisión.

Como mejora de la clasificación anterior, se sugirió<sup>25</sup> que la toma de precisión se denomine *manejo de precisión* porque implica una toma no forzada del objeto y es un proceso dinámico sin una fase estática. Tanto en la toma de fuerza como en el manejo de precisión, se obtiene la completa oposición del pulgar respecto de los dedos anular y

---

<sup>24</sup> Napier 1956

<sup>25</sup> Landsmeer 1962

meñique a través del desplazamiento palmar de los metacarpianos de estos dedos.

Una variante del manejo de precisión es el, a menudo usado, *trípode dinámico*<sup>26</sup>, con el que el pulgar, el índice y el corazón tienen una acción dinámica, trabajando en íntima sinergia para el manejo de precisión del objeto, mientras que los dedos anular y meñique se usan en gran medida para el soporte y control estático. Un mayor refinamiento es hacer una pinza sobre un objeto pequeño con el pulgar y el índice. Tales maniobras se clasifican comúnmente como pinza terminal, pinza palmar, pinza lateral (o de llave) y pinza de pulpejo (o cubital), dependiendo de las partes de las falanges utilizadas para soportar el objeto que se está manejando.

Otra distinción importante entre la toma de fuerza y el manejo de precisión es la posición fundamentalmente diferente del pulgar en cada postura. En la toma de fuerza, el pulgar se aduce; en el manejo de precisión, se abduce palmarmente. La relación de la mano respecto del antebrazo también difiere de forma notable. En la toma de fuerza, la mano normalmente se desvía cubitalmente y la muñeca se mantiene aproximadamente en posición neutra de modo que el eje longitudinal del pulgar coincide con el antebrazo. De este modo, la pronación y supinación puede transmitirse del antebrazo al objeto. En el manejo de precisión, la mano se mantiene generalmente a medio camino entre la desviación radial y cubital de la muñeca, y la muñeca se refleja notablemente en la postura del pulgar. Cuando la demanda de precisión es mínima o no existe, el pulgar rodea el dorso de las falanges medias de los dedos y actúa puramente como un mecanismo de reforzamiento. Cuando se requiere un elemento de precisión en lo que predominantemente es una toma de fuerza, como se produce en la toma de esgrima, el pulgar se aduce y se alinea con el eje longitudinal del cilindro de modo que, por medio de pequeños ajustes de la postura, puede controlar la dirección en la que se está aplicando la fuerza. En el otro extremo del rango de la toma de fuerza se encuentra la toma del martillo de picar, la forma más primitiva de función prensil, donde el pulgar se ocupa por completo de reforzar la acción de agarre de los dedos. Un ejemplo de este extremo en una mano sin objetos es el puño cerrado.

La rotación del pulgar hacia una posición de oposición es un requisito de casi toda función de la mano, tanto si es una toma fuerte como si es una pinza de precisión delicada. En algunos casos, sin embargo, el pulgar puede no implicarse del todo, ya que en la toma de gancho en la que los dedos se flexionan de modo que sus eminencias se disponen paralelas y ligeramente separadas de la palma, formando juntas un gancho. Esta postura requiere relativamente poca actividad muscular para su mantenimiento y se usa cuando

---

<sup>26</sup> Capener 1956

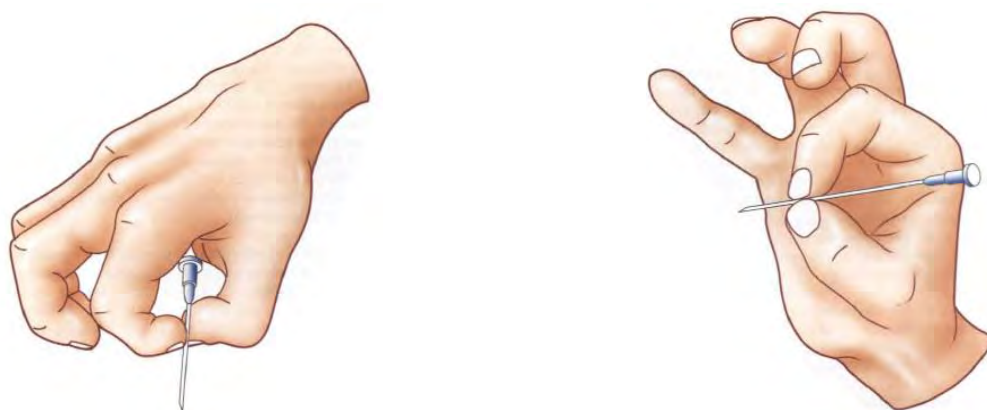


los requisitos de precisión son mínimos y cuando la fuerza debe ejecutarse continuamente durante periodos prolongados. Funcionalmente, el patrón de toma de gancho tiene un potencial limitado y no se usa muy a menudo. Un ejemplo de uso es llevar una caja adicional o una maleta por su asa. Por el contrario, el individuo cuyos músculos intrínsecos de la mano se paralizan o están severamente debilitados confía en el agarre de gancho para llevar a cabo la tarea funcional. El agarre de gancho es el único patrón de agarre disponible cuando no se activan los intrínsecos de la mano.

Esto no resume todas las posibilidades de acción de la mano. Además de la prensión, también puede realizar percusiones, contacto, y expresión gestual.

#### 6.6.5.1. PRESAS O PINZAS DIGITALES BIDIGITALES TERMINALES

Es la más fina y precisa, permite sujetar un objeto de pequeño calibre o coger un objeto muy fino como una cerilla o una aguja. El pulgar y el dedo índice (o el dedo corazón) se oponen por el extremo del pulpejo e incluso en el caso de algunos objetos extremadamente finos (coger un pelo) por el borde de la uña. Por lo tanto, se necesita un pulpejo elástico y correctamente apuntalado por la uña, cuya función es primordial en este tipo de prensión. Por este motivo, también se puede denominar prensión pulpejo-ungueal. Es la prensión más fácil de comprometer ante la menor alteración de la mano. De hecho, precisa de un máximo juego articular (la flexión es máxima) y sobre todo de la integridad de los grupos musculares y tendones, y en particular del músculo flexor profundo de los dedos del dedo índice y del músculo flexor largo del pulgar, que estabiliza la pequeña falange en flexión, de ahí la importancia de una reparación prioritaria del músculo flexor profundo de los dedos cuando están seccionados ambos flexores.



Presas o pinzas digitales bidigitales terminales.

#### 6.6.5.2. PRESAS O PINZAS DIGITALES BIDIGITALES SUBTERMINALES

La prensión por oposición subterminal o del pulpejo es el tipo más común. Permite sujetar objetos relativamente más gruesos, como un lápiz o una hoja de papel. La prueba de eficacia de la prensión del pulpejo subterminal consiste en intentar arrancar una hoja de

papel sujeto con firmeza por el pulgar y el dedo índice. Si la oposición es buena, la hoja no se puede arrancar. También se denomina *signo de Froment*, que valora la potencia del músculo aductor corto del pulgar así como la integridad del nervio cubital que lo inerva.

En este tipo de prensión, pulgar y dedo índice (o cualquier otro dedo) se oponen por la cara palmar del pulpejo. Naturalmente, el estado del pulpejo es importante, pero la articulación interfalángica distal puede estar en extensión o incluso bloqueada en semiflexión mediante una artrodesis. Los principales músculos de este tipo de prensión son el músculo flexor superficial de los dedos del dedo índice para la estabilización en flexión de la segunda falange y los músculos tenares flexores de la primera falange del pulgar, es decir, el músculo flexor corto del pulgar, primer músculo interóseo palmar, músculo abductor corto del pulgar y sobre todo el músculo aductor del pulgar.



Presas o pinzas digitales bidigitales subterminales.

#### 6.6.5.3. PRESAS O PINZAS DIGITALES BIDIGITALES SUBTERMINOLATERALES

La presa por oposición subterminolateral o pulpolateral, como cuando se sujeta una moneda. Este tipo de prensión puede suplir la oposición terminal o la subterminal cuando se han amputado las dos últimas falanges del dedo índice. La presa es menos fina aunque sigue siendo sólida. La cara palmar del pulpejo del pulgar contacta con la cara externa de la primera falange del dedo índice. Los músculos más importantes de este tipo de prensión son el primer músculo interóseo dorsal del dedo índice para estabilizar el dedo índice lateralmente, apuntalado además por los otros dedos y el músculo flexor corto del pulgar, el primer músculo interóseo palmar y sobre todo el músculo aductor del pulgar, cuya actividad ha sido confirmada mediante electromiografía.



Presas o pinzas digitales bidigitales subterminolaterales.

#### 6.6.5.4. PRESAS O PINZAS DIGITALES BIDIGITALES INTERDIGITAL LATEROLATERAL

Entre las presas digitales, existe una que no constituye una pinza pulgodigital, se trata de la prensión interdigital laterolateral, es un tipo de prensión accesorio, por ejemplo sujetar un cigarro o cualquier otro objeto pequeño. Generalmente, se efectúa entre el dedo índice y el dedo corazón, el pulgar no interviene. El diámetro del objeto que se ha de coger debe ser pequeño. Los músculos que participan son los músculos interóseos (segundos músculos interóseos palmar y dorsal). Es una presa débil y sin precisión, aunque los individuos que sufren amputación del pulgar la desarrollan de manera sorprendente.



Prensión interdigital laterolateral.

#### 6.6.5.5. PRESAS O PINZAS DIGITALES PLURIDIGITALES TRIDIGITALES

Las presas tridigitales comprometen al pulgar, dedo índice y dedo corazón y son las que se utilizan con mayor frecuencia. Una parte importante, por no decir preponderante, de la humanidad que no usa tenedor, utiliza esta presa para llevarse los alimentos a la boca. Se asemeja entonces a la presa tridigital del pulpejo (Fig. 251), tal cual se emplea para sujetar una pelota pequeña donde el pulgar opone su pulpejo al del dedo índice y al del dedo corazón en relación al objeto. Por ejemplo, escribir con un lápiz (Fig. 252), necesita una presa tridigital, del pulpejo en el caso del dedo índice y del pulgar, y lateral para la tercera falange del dedo corazón que sirve de soporte al igual que el fondo de la primera comisura.



Presas o pinzas digitales pluridigitales tridigitales.

En este sentido, esta presa es muy direccional y se parece tanto a las presas centradas como a las presas activas. Ya que la escritura no sólo es el resultado de los movimientos del hombro y de la mano que se desliza por la mesa sobre su borde cubital y el dedo meñique, sino también de los movimientos de los tres primeros dedos que provocan la intervención del músculo flexor largo del pulgar y del músculo flexor superficial del dedo índice para el vaivén del lápiz y de los músculos sesamoideos externos y del segundo músculo interóseo dorsal para sujetarlo.

La acción de desenroscar el tapón de un frasco es una presa tridigital, lateral para el pulgar y la segunda falange del dedo corazón que se oponen directamente y del pulpejo para el dedo índice que bloquea el objeto sobre el tercer lado. El dedo corazón sirve de tope, encajado entre el dedo anular y el dedo meñique. El pulgar ejerce con fuerza el tapón contra el dedo corazón gracias a la contracción de todos los músculos tenares. El bloqueo se inicia merced al músculo flexor largo del pulgar y termina con el dedo índice bajo la acción de su músculo flexor superficial de los dedos. Cuando se abre el tapón, su desenroscado se lleva a cabo sin la ayuda del dedo índice, con el pulgar y el dedo corazón, flexión del pulgar, extensión del dedo corazón. Es un ejemplo de presa con acción.

Si al inicio, el tapón no está demasiado apretado, puede emplearse la presa tridigital del pulpejo para los tres dedos con movimiento de desenroscado por flexión del pulgar, extensión del dedo corazón e intervención del dedo índice en abducción bajo la acción del primer músculo interóseo dorsal, de nuevo una presa con acción.



Presas o pinzas digitales pluridigitales tridigitales.

#### 6.6.5.6. PRESAS O PINZAS DIGITALES PLURIDIGITALES TETRADIGITALES

Las presas tetradigitales se utilizan cuando se trata de un objeto muy grueso que debe cogerse con mayor firmeza. La presa puede ser entonces tetradigital del pulpejo, tetradigital pulpejo-lateral o tetradigital del pulpejo pulgotridigital.

La presa tetradigital del pulpejo se utiliza al coger un objeto esférico como una pelota de ping-pong. En este caso se puede observar que el contacto se lleva a cabo por el pulpejo en el caso del pulgar, dedo índice y dedo corazón mientras que es lateral en el caso de la tercera falange del dedo anular, cuya función es evitar que el objeto se escape hacia dentro.



Presa digitales pluridigitales tetradigital del pulpejo.

La presa tetradigital pulpejo-lateral se da cuando se desenrosca una tapa. En este caso, el contacto del pulgar es amplio, abarcando el pulpejo y la cara palmar de la primera falange, así como sobre el dedo índice y el dedo corazón. Es lateral y del pulpejo en la segunda falange del dedo anular que bloquea el objeto por dentro. El rodeo de la tapa por los cuatro dedos produce un movimiento de espiral sobre el segundo, tercero y cuarto dedos y se puede demostrar que la resultante de las fuerzas que ejercen se anula en el centro de la tapa que se proyecta hacia la articulación metacarpofalángica del dedo índice.



Presa digitales pluridigitales tetradigital del pulpejo-lateral.

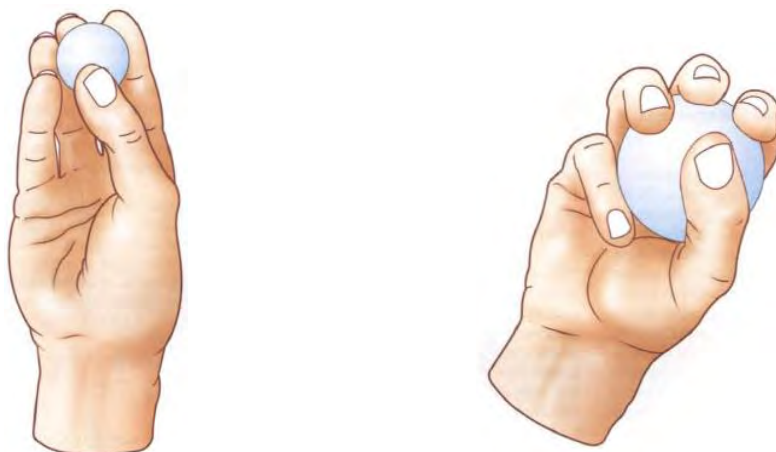
La presa tetradigital del pulpejo pulgotridigital, como cuando se sostiene un carboncillo, un pincel o un lápiz. El pulpejo del pulgar dirige y mantiene el objeto con fuerza contra el pulpejo del dedo índice, del dedo corazón y del dedo anular casi en máxima extensión. También es la forma en la que el violinista y el violonchelista sujetan su arco.



Presa digitales pluridigitales tetradigital del pulpejo pulgotridigital.

#### 6.6.5.7. PRESAS O PINZAS DIGITALES PLURIDIGITALES PENTADIGITALES

Las presas pentadigitales emplean todos los dedos, el pulgar se opone de forma variada a los otros dedos. Se utilizan generalmente para coger grandes objetos. Sin embargo, cuando se trata de un objeto pequeño, se puede coger con un presa pentadigital del pulpejo, de modo que sólo el quinto dedo efectúa un contacto lateral. Si el objeto es un poco más voluminoso, como una pelota de tenis, la presa se convierte en pentadigital pulpejo-lateral. Los cuatro primeros dedos contactan con toda su cara palmar y envuelven el objeto casi totalmente, el pulgar se opone a los tres otros dedos y el dedo meñique evita mediante su cara externa cualquier posible desplazamiento del objeto hacia dentro y en sentido proximal. Aunque no se trata de una presa palmar, la pelota se localiza más en los dedos que en la palma de la mano, también es una presa firme.



Presa digitales pluridigitales pentadigital del pulpejo y del pulpejo-lateral.

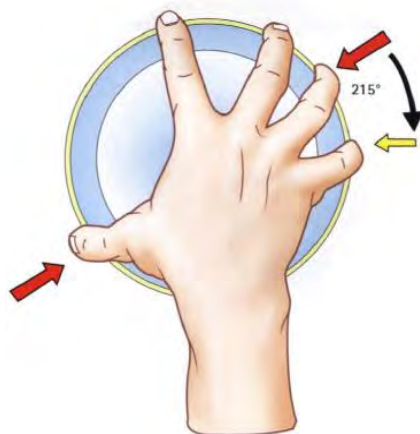


Otra presa pentadigital que podría denominarse *presa pentadigital comisural*, coge objetos gruesos hemisféricos, como por ejemplo un cuenco, envolviéndolo con la primera comisura, pulgar y dedo índice ampliamente extendidos y separados contactan con toda su cara palmar, lo que precisa una gran flexibilidad y posibilidades normales de separación de la primera comisura. Este no es el caso tras las fracturas del primer metacarpiano o las heridas del primer espacio que acarreen una retracción de la primera comisura. Además, el cuenco lo sujetan el dedo corazón, el dedo anular y el dedo meñique, que no contactan más que a través de sus dos últimas falanges. Por lo tanto, se trata más bien de una presa digital y no palmar.



Presa pentadigital comisural.

La *presa pentadigital panorámica* permite coger grandes objetos planos, como una bandeja. Para poder realizarla se necesita una gran separación de los dedos, ampliamente divergentes, el pulgar se coloca en retroposición y en máxima extensión, de modo que está en máxima contraposición. Se opone diametralmente al dedo anular (fechas rojas) con el que tensa un arco de  $180^\circ$  sobre el que se enganchan el dedo índice y el dedo corazón. El dedo meñique *muerde* el otro semicírculo de tal manera que el arco establecido entre él y el pulgar es de  $215^\circ$ .



Presa pentadigital panorámica.

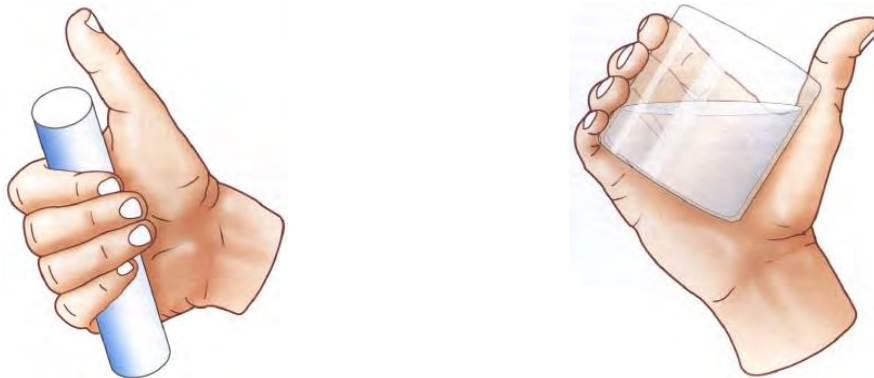
Estos dos dedos, en máxima separación, en la octava como dirían los pianistas, forman con el dedo índice una presa *triangular* casi regular, y con los otros dedos una presa tipo

*garfio* de la que el objeto no puede escapar. Obsérvese que la eficacia de esta presa depende de la integridad de las articulaciones interfalángicas distales y de la acción de los músculos flexores profundos de los dedos.

Las presas palmares hacen intervenir, además de los dedos, la palma de la mano. Son de dos tipos según se utilice o no el pulgar.

#### 6.6.5.8. PRESAS O PINZAS PALMAR DIGITOPALMAR

La prensión palmar digitopalmar opone la palma de la mano a los cuatro últimos dedos. Es un tipo de presa accesoria pero utilizada con frecuencia cuando se maneja una palanca o sujeta un volante. El objeto, de poco diámetro, 3 a 4 cm, se coge entre los dedos flexionados y la palma de la mano, el pulgar no participa. La presa no es firme, hasta cierto punto, más que en sentido distal. El objeto puede deslizarse con facilidad hacia la muñeca ya que la presa no está bloqueada. Además, se puede constatar que el eje de la presa es perpendicular al eje de la mano y no sigue la dirección oblicua de la corredera palmar. Esta prensión digitopalmar también puede utilizarse para coger un objeto más voluminoso, un vaso por ejemplo, pero cuanto más importante es el diámetro del objeto, menos firmeza posee la presa.

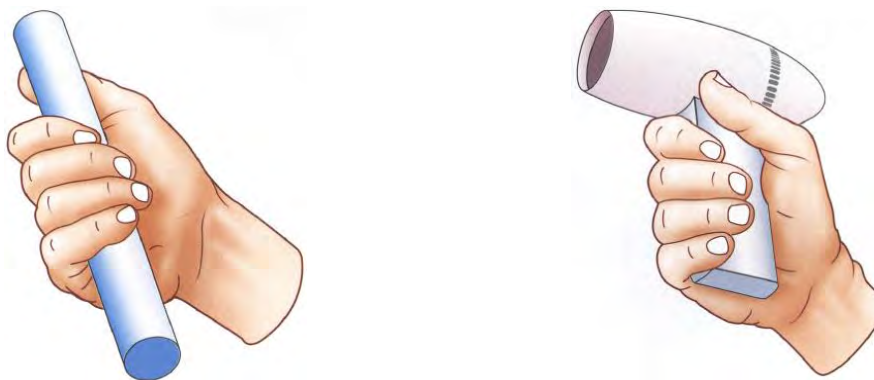


Presa palmar digitopalmar.



#### 6.6.5.9. PRESAS O PINZAS PALMAR CON LA TOTALIDAD DE LA PALMA

La prensión palmar con la totalidad de la mano o la totalidad de la palma es la prensión de fuerza para los objetos pesados y relativamente voluminosos. La mano se enrolla literalmente en torno a objetos cilíndricos. El eje del objeto adopta la misma dirección que el eje de la corredera palmar, es decir, oblicuo desde la base de la eminencia hipotenar a la base del índice. En relación a la base de la mano y del antebrazo, esta oblicuidad se corresponde con la inclinación del cayado de las herramientas que forma un ángulo de 100 a 110°. Es sencillo constatar que puede compensarse con más facilidad un ángulo muy abierto (120 a 130°) gracias a la inclinación cubital de la muñeca, que un ángulo muy cerrado (90°), ya que la inclinación radial es bastante menos amplia.



Presas o pinzas palmar con la totalidad de la palma.

El volumen del objeto que se coge condiciona la fuerza de la prensión. Esta es óptima cuando el pulgar puede contactar (o casi) con el dedo índice. De hecho, el pulgar constituye el único tope que se opone a la fuerza de los otros cuatro dedos, y su eficacia es tanto mayor cuanto más flexionado esté. El diámetro de los cayados y de los mangos de las herramientas depende de esta constatación.

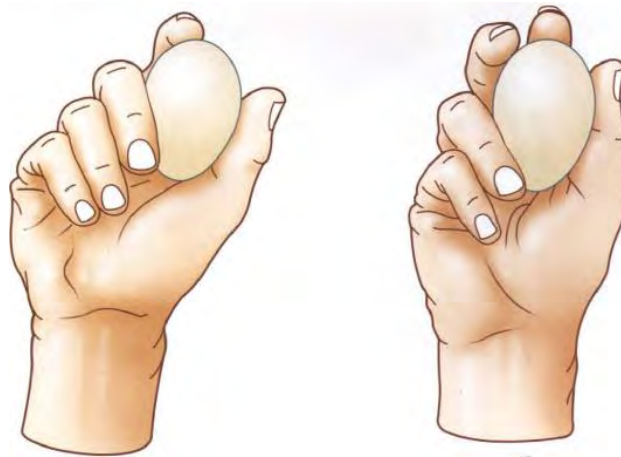
La forma del objeto que se coge tampoco es indiferente y en la actualidad se fabrican empuñaduras que contienen las huellas de los dedos.

Los músculos necesarios para este tipo de prensión son los músculos flexores superficiales y profundos de los dedos y sobre todo los músculos interóseos para la flexión potente de la primera falange de los dedos. Y también todos los músculos de la eminencia tenar, sobre todo el músculo aductor corto del pulgar y el músculo flexor largo del pulgar para bloquear la presa gracias a la flexión de la segunda falange.

Cuando se utiliza la presa palmar cilíndrica para objetos de diámetro importante, la presa es tanto menos firme cuanto mayor es el diámetro. De modo, que el bloqueo depende, como ya se vio con anterioridad, de la acción de la articulación metacarpofalángica que permite que el pulgar recorra una directriz del cilindro, es decir un círculo, o el camino más corto para dar la vuelta. Por otra parte, el volumen del objeto exige la máxima libertad de

separación de la primera comisura.

Las presas palmares esféricas pueden implicar a tres, cuatro o cinco dedos. Cuando intervienen tres o cuatro dedos, el último dedo implicado por dentro, bien sea el dedo corazón, en la presa esférica tridigital, o el dedo anular en la presa esférica tetradigital, contactan por la cara lateral externa con el objeto, constituyendo así un tope interno, reforzado por los dedos restantes, a saber el dedo meñique en solitario o asociado con el dedo anular. Este tope se opone a la presión del pulgar de modo que el objeto queda bloqueado distalmente por el o los *ganchos* de los dedos que establecen un contacto palmar con el objeto.

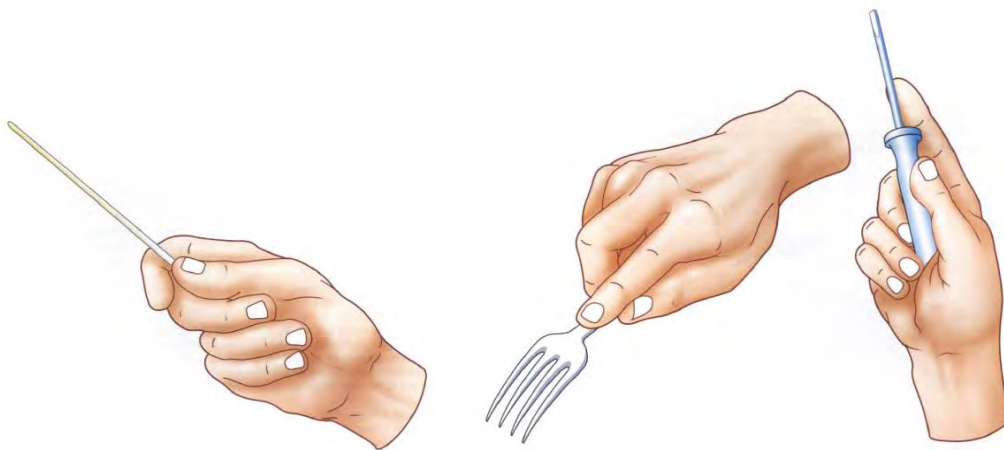


Presas palmares esféricas tridigital y tetradigital.

En la presa palmar esférica pentadigital todos los dedos contactan con el objeto por su cara palmar. El pulgar se opone al dedo anular. En conjunto ocupan el mayor diámetro y el bloqueo de la presa está garantizado distalmente por el dedo índice y el dedo corazón y proximalmente por la eminencia tenar y el dedo meñique. El objeto, sujeto con firmeza por todos los dedos en forma de gancho, lo que supone tanto las máximas posibilidades de separación de las comisuras como la eficacia de los músculos flexores superficiales y profundos de los dedos, contacta con toda la palma de la mano. Esta presa es mucho más simétrica que las dos anteriores y, en este sentido, constituye la transición con las siguientes.

#### 6.6.5.10. PRESAS O PINZAS CENTRADAS

Las presas centradas realizan una simetría en torno al eje longitudinal que, en general, se confunde con el eje del antebrazo. Esto es evidente en el caso de la batuta del director de orquesta que no hace más que prolongar la mano y representa una extrapolación del dedo índice en cuanto a su función señaladora. Esto es indispensable desde el punto de vista mecánico en la presa del destornillador que se confunde entonces con el eje de pronosupinación en el acto de atornillar o desatornillar. También es bastante claro en la presa de un tenedor o de un cuchillo que no hacen más que prolongar la mano distalmente. En cualquier caso, el objeto de forma alargada se coge con firmeza mediante una presa palmar donde intervienen el pulgar y los últimos tres dedos, el dedo índice, en este caso, desempeña una función orientativa indispensable para dirigir el utensilio.



Presas o pinzas centradas.

Las presas centradas o direccionales son muy útiles. Requieren la integridad de la flexión de los tres últimos dedos, la extensión completa del dedo índice cuyos músculos flexores deben ser eficaces, y un mínimo de oposición del pulgar para el que la flexión de la articulación interfalángica no es indispensable.

#### 6.6.5.11. PRESAS CON GRAVEDAD

En estas presas en las que la gravedad ayuda, la mano sirve de soporte, como cuando se sujeta una bandeja, lo que supone que puede aplanarse, con la palma de la mano horizontal, mirando hacia arriba y por lo tanto, en máxima supinación y sin los dedos en forma de gancho, lo que está en la base de la prueba del camarero o que puede transformarse en un trípode por debajo del objeto que debe sujetar.

Gracias a la gravedad, la mano también puede comportarse como una cuchara que contiene granos, harina o un líquido. El hueco de la palma de la mano se prolonga por el de los dedos aducidos al máximo por la acción de los músculos interóseos palmares para evitar las posibles fugas. El pulgar, muy importante en esta acción, cierra la corredera

palmar por fuera, en semiflexión, se aproxima al segundo metacarpiano y a la primera falange del dedo índice bajo la acción del músculo aductor del pulgar. La aproximación de las dos manos huecas en forma de dos semicuencos unidos por su borde cubital puede constituir una cavidad mucho más amplia, en un gesto de ofrenda.

Todos estos tipos de prensión a modo de sostén necesitan que la supinación esté íntegra, de hecho, sin ella, la palma de la mano, única parte de la mano capaz de constituir una pared cóncava, no puede orientarse hacia arriba, ya que no existe posibilidad alguna de compensación de la supinación por parte del hombro.



Presas con gravedad, bandeja y cuenco.

La presa de una taza con tres dedos utiliza la gravedad puesto que su circunferencia queda sujeta entre dos toques, constituidos por el pulgar y el dedo corazón, además de un gancho formado por el dedo índice. Esta presa necesita una gran estabilidad del pulgar y del dedo corazón, así como la integridad del músculo flexor profundo de los dedos del dedo índice cuya tercera falange sostiene el reborde de la taza. El músculo aductor corto del pulgar también es imprescindible.



Presas con gravedad, tazón.

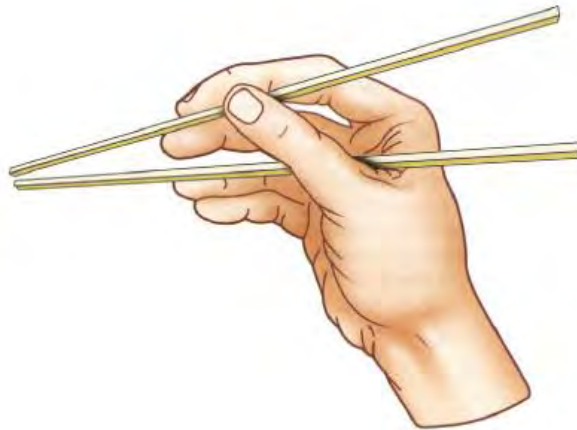
Las presas en forma de gancho con uno o varios dedos, como cuando se lleva un cubo o una maleta, o incluso en el caso de engancharse a los salientes de una pared rocosa, también utilizan la acción de la gravedad, oponiéndose, y necesitan también la integridad de los músculos flexores y, en especial, del músculo flexor profundo de los dedos, que puede romperse accidentalmente en algunas presas empleadas por los alpinistas.

#### 6.6.5.12. PRESAS CON ACCIÓN

Las presas estáticas analizadas hasta ahora no bastan para agotar todas las posibilidades de la mano. La mano también es capaz de actuar cogiendo. Es lo que se denomina presas con acción (PCA) o de modo más sencillo presas-acción.

Algunas de estas acciones son elementales como lanzar una peonza mediante una presa pulgar-índice tangencial, o también lanzar una canica mediante un impulso brusco de la segunda falange del pulgar por acción del *músculo extensor largo del pulgar*, la canica sujeta previamente en la concavidad del dedo índice totalmente flexionado por acción del *músculo flexor profundo de los dedos*.

Existen otras acciones todavía más complejas, donde la mano realiza una acción refleja sobre sí misma. En este caso, el objeto sujeto por una parte de la mano sufre una acción que procede de otra parte. Estas presas-acción donde la mano actúa sobre sí misma son innumerables, se pueden tomar como ejemplo: encender un mechero, apretar el resorte de un frasco de aerosol, cortar con tijeras, comer con palillos chinos, hacer nudos con una **sola mano...**



Presas con acción.

#### 6.6.6. LAS PERCUSIONES, EL CONTACTO, LA EXPRESIÓN GESTUAL

La mano del hombre no sólo se utiliza para la prensión, sino que también puede utilizarse como instrumento de percusión:

- Bien en el trabajo, como por ejemplo cuando se utiliza una calculadora o una máquina de escribir, o un ordenador o cuando se toca el piano, cada dedo se comporta como un martillo diminuto que golpea la tecla gracias a la acción coordinada de los músculos interóseos y de los músculos flexores de los dedos, sobre todo el profundo. La dificultad consiste en adquirir la independencia funcional de los dedos entre sí y de las manos entre sí, lo que requiere un aprendizaje cerebral y muscular, así como un entrenamiento permanente.
- Bien en la lucha donde los golpes los propina el puño en el boxeo, con el borde cubital de la mano o el extremo de los dedos en el kárate, o también la mano ampliamente extendida como en una vulgar bofetada.
- Bien chasqueando los dedos deslizándolos súbita y fuertemente el dedo corazón desde el extremo a la base del pulgar.



Uso de la mano como instrumento de percusión.

El contacto de la mano en el caso de una caricia es menos brusco, esta desempeña una función primordial en el contacto social y sobre todo afectivo. También cabe destacar la necesidad de una sensibilidad cutánea intacta tanto para la mano que acaricia como para el objeto de la caricia. En algunos casos, el contacto de ambas manos puede desempeñar una función terapéutica en la imposición de manos que puede ser *eficaz*, incluso a distancia. Por último, el gesto más trivial de la vida cotidiana del hombre occidental, el apretón de manos, representa un contacto social repleto de significado simbólico.

La expresión gestual es, sin duda alguna, un atributo irremplazable de la mano. De hecho, esta expresión se lleva a cabo en estrecha colaboración con la cara y la mano. Depende de centros subcorticales, tal como lo demuestra su desaparición en la enfermedad de Parkinson.

Este lenguaje de la mano y de la cara está codificado para la comunicación entre sordomudos, pero la gesticulación instintiva constituye un segundo lenguaje. A diferencia



del sistema de comunicación hablado, su significado es universal. Este tipo de comunicación lo componen innumerables formas, que pueden contar con algunas variaciones regionales, pero que, en general, se comprenden en todos los rincones del planeta, que se trate de un puño alzado en signo de amenaza, del saludo con la mano ampliamente abierta en signo de paz, del dedo señalando como signo de acusación, o incluso de los aplausos en signo de aprobación. Esta gesticulación la *trabajan* profesionalmente los actores de teatro, pero es instintiva en el caso del hombre de la calle, en forma tanto más irreprimible cuanto más meridional es su origen. Su objetivo es el de destacar y acentuar el sentido de la expresión pero, con frecuencia, el gesto sobrepasa a la palabra y se basta por sí solo para expresar sentimientos y situaciones, lo que explica la gran abundancia de la *mano gesticuladora* en las obras pictóricas y escultóricas. Esta función de la mano no es la menos importante al lado de su utilidad funcional y sensorial.

En ciertas actividades artesanas, como es el caso de las manos del alfarero, la acción de la mano se realiza en todos los planos de manera simultánea. Función efectora en el modelado del objeto, función sensorial para reconocer su forma que se modifica continuamente bajo su caricia-trabajo y, por último, su significado simbólico, gesto de ofrenda de su creación al colectivo de personas. Es este carácter completo del gesto creativo del artesano, el que le confiere todo el valor.

#### 6.6.7. POSICIONES FUNCIONALES Y DE INMOVILIZACIÓN DE LA MANO

Descrita inicialmente<sup>27</sup> como la posición de la mano en reposo, la posición funcional de la mano es, en realidad, bastante diferente de la que se observa en el individuo adormecido (La Mano de Adán, según Miguel Ángel), igualmente denominada posición de relajación o posición de reposo, que también constituye la posición antiálgica de la mano lesionada: antebrazo en pronación, muñeca flexionada, pulgar en aducción-retroposición, comisura cerrada, dedos relativamente extendidos sobre todo las articulaciones metacarpofalángicas.

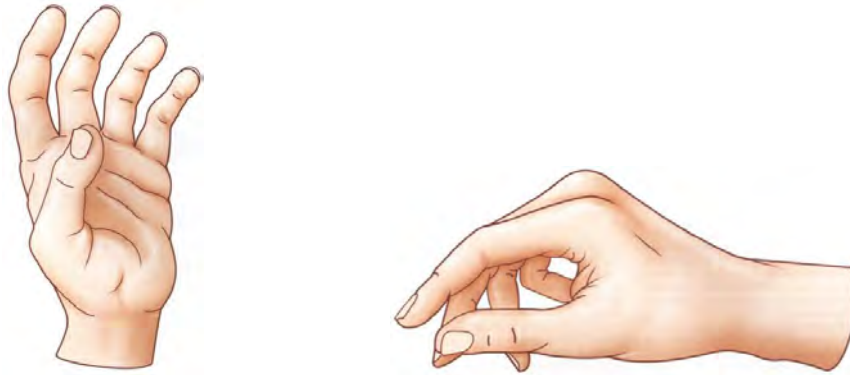


Posición de la mano en reposo.

---

<sup>27</sup> S. Bunnell 1948

Más tarde<sup>28</sup> se puntualizó la posición funcional como: antebrazo en semipronación, muñeca en extensión de 30° y aducción que sitúa el pulgar, sobre todo el primer metacarpiano, en alineación con el radio, constituyendo así con el segundo metacarpiano un ángulo aproximado de 45°, articulaciones metacarpofalángica e interfalángica casi en posición de alineación, dedos ligeramente flexionados, tanto más a la altura de las articulaciones metacarpofalángicas cuanto más interno sea el dedo.



Posición funcional de la mano.

Resumiendo, la posición funcional es aquella a partir de la cual se podría llevar a cabo la prensión con el mínimo de movilidad articular si una o varias articulaciones de los dedos o del pulgar estuvieran anquilosadas o a partir de la cual la recuperación de los movimientos resultase relativamente fácil, habiéndose realizado la oposición casi en su totalidad y bastando para completarla algunos grados de flexión en una de las articulaciones restantes.

No obstante, más tarde<sup>29</sup>, se definieron tres tipos de posiciones de inmovilización:

- La posición de inmovilización temporal, denominada de *protección*, que intenta preservar la movilidad ulterior de la mano:
  - Antebrazo en semiflexión, pronación, codo flexionado 100°.
  - Muñeca en extensión a 20° y ligera aducción.
  - Dedos tanto más flexionados cuanto más internos:
    - Las articulaciones metacarpofalángicas flexionadas entre 50 y 80°. Tanto más cuanto menos lo estén las articulaciones interfalángicas proximales.
    - Las articulaciones interfalángicas moderadamente flexionadas. Tanto menos cuanto más se desee disminuir la tensión y la isquemia en este punto.

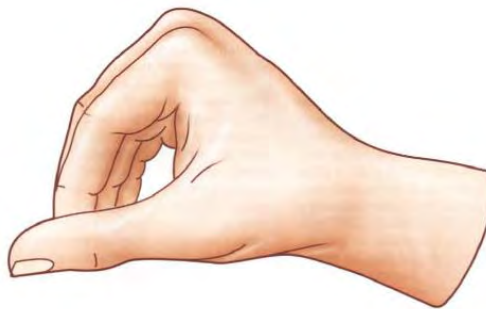
---

<sup>28</sup> W. Linier 1951

<sup>29</sup> R. Tubiana 1973



- En el caso de las articulaciones interfalángicas proximales entre  $10^\circ$  y  $40^\circ$ , en el caso de las articulaciones interfalángicas distales entre  $10^\circ$  y  $20^\circ$ .
- Pulgar preparado para realizar la oposición. Primer metacarpiano en ligera aducción pero también en anteposición, de modo que la apertura de la primera comisura quede garantizada, articulaciones metacarpofalángica e interfalángica en una ligera flexión de tal modo que el pulpejo del pulgar se dirija hacia el del dedo índice y hacia el del dedo corazón.



Posición de la mano de inmovilización temporal.

- Las posiciones de inmovilización funcionales definitivas denominadas *de fijación*, dependen de cada caso particular:
  - En el caso de la muñeca:
    - Cuando los dedos conservan sus posibilidades de presa, se debe realizar una artrodesis de muñeca en extensión de  $25^\circ$  para colocar la mano en posición de presa.
    - Cuando los dedos han perdido su función de prensión, el bloqueo de la muñeca es más ventajoso en flexión.
    - Si las dos muñecas están definitivamente inmovilizadas, impera el bloqueo de una de ellas para la higiene perineal. La utilización de una muleta o de un bastón induce al bloqueo de la muñeca en posición de alineación. La utilización de dos muletas conlleva una artrodesis en extensión de  $10^\circ$  de la mano dominante y una artrodesis en flexión de  $10^\circ$  de la otra.
  - Se inmoviliza el antebrazo en pronación más o menos completa.
  - En lo que concierne a las articulaciones metacarpofalángicas, la posición de flexión varía de  $35^\circ$  en el caso del dedo índice a  $50^\circ$  en el caso del dedo meñique.
  - En cuanto a las articulaciones interfalángicas proximales la flexión varía

de 40 a 60°.

- La artrodesis de la articulación trapezometacarpiana se realiza en una posición adaptada a cada caso, pero cada vez que se deba bloquear definitivamente uno de los elementos de la pinza pulgodigital, deben tenerse en cuenta necesariamente las posibilidades de la zona que queda móvil.
- Las posiciones no funcionales denominadas *de inmovilización temporal*, posiciones de relajación parcial. Sólo se justifican en el periodo de tiempo más corto posible para obtener una mayor estabilidad en un foco de fractura o una relajación en una sutura tendinosa o nerviosa. Existe un grave riesgo de rigidez por éxtasis venoso y linfático. Dicho peligro disminuye considerablemente si las articulaciones vecinas a las inmovilizadas se movilizan activamente:
  - Tras una sutura del nervio mediano, del nervio cubital o de los músculos flexores de los dedos, puede flexionarse la muñeca hasta los 40° sin grandes consecuencias durante tres semanas, aunque es imprescindible inmovilizar las articulaciones metacarpofalángicas en flexión aproximadamente 80°, dejando las articulaciones interfalángicas en su grado de extensión natural puesto que su extensión es difícil de recuperar después de una flexión forzada.
  - Tras reparación de los elementos dorsales, las articulaciones deben inmovilizarse en extensión, aunque es necesario conservar siempre al menos 10° de flexión en las articulaciones metacarpofalángicas. En cuanto a las articulaciones interfalángicas la flexión puede ser de 20° si la sección se localizase por encima de las articulaciones metacarpofalángicas, pero deberá ser nula si la sección se localiza en la primera falange.
  - Tras tratamiento de las lesiones denominadas *en ojal*, se inmoviliza la articulación interfalángica proximal en extensión y la articulación interfalángica distal en flexión para traccionar distalmente el aparato extensor.
  - Por el contrario, si la lesión se localizase cerca de la articulación interfalángica distal, ésta se inmovilizaría en extensión y la articulación interfalángica proximal en flexión para relajar así las cintillas laterales del músculo extensor.

Sea cual sea la decisión adoptada, no hay que olvidar que una inmovilización prolongada conlleva siempre una pérdida funcional. En este sentido, debe ser siempre lo más breve posible.

### 6.6.8. LOS MOVIMIENTOS DE FLEXIÓN-EXTENSIÓN EN LA ARTICULACIÓN METACARPOFALÁNGICA DEL PULGAR

La posición de referencia de la articulación metacarpofalángica del pulgar es la posición de alineación. El eje de la primera falange se localiza en la prolongación del eje del primer metacarpiano. Para apreciar los movimientos elementales de los dedos, parece sensato pegar o fijar un triedro rectangular de referencia construido con cerillas, en cada uno de los segmentos de la articulación.



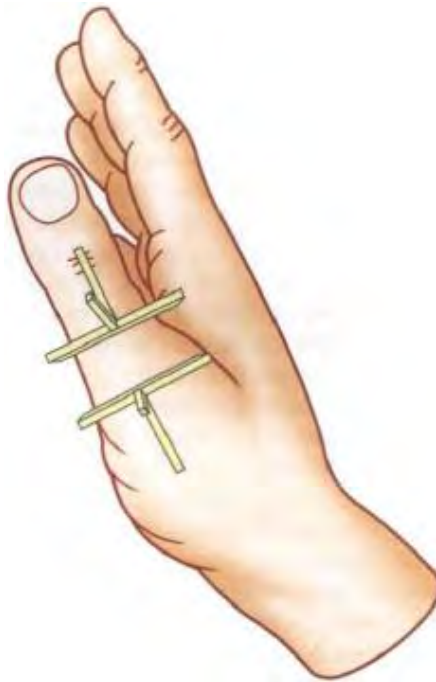
Posición de alineación de la articulación metacarpofalángica del pulgar.

A partir de esta posición, la extensión en un individuo normal, sea activa o pasiva, es inexistente. La flexión activa es de  $60^\circ$  -  $70^\circ$ , la flexión pasiva puede alcanzar  $80^\circ$  e incluso  $90^\circ$ . Es en el transcurso de este movimiento que pueden observarse los componentes elementales, gracias a los triedros.



Flexión activa de la articulación metacarpofalángica del pulgar.

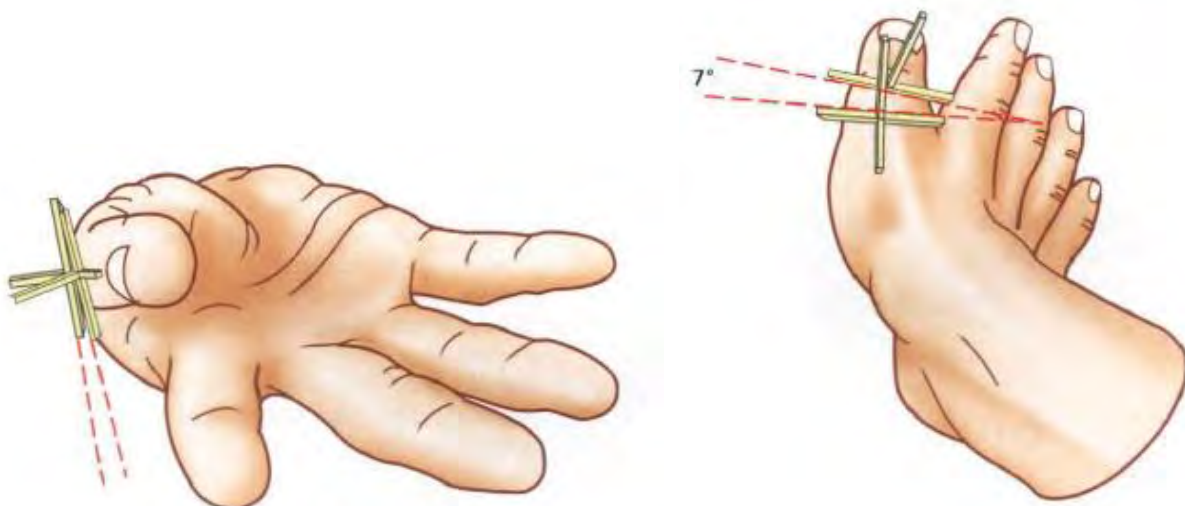
En una visión dorsal en alineación, los triedros se pegan de forma que las cerillas están paralelas o en la prolongación la una de la otra. De este modo, pueden evidenciarse los componentes de rotación e inclinación.



Visión dorsal de la posición de alineación de la articulación metacarpofalángica del pulgar.

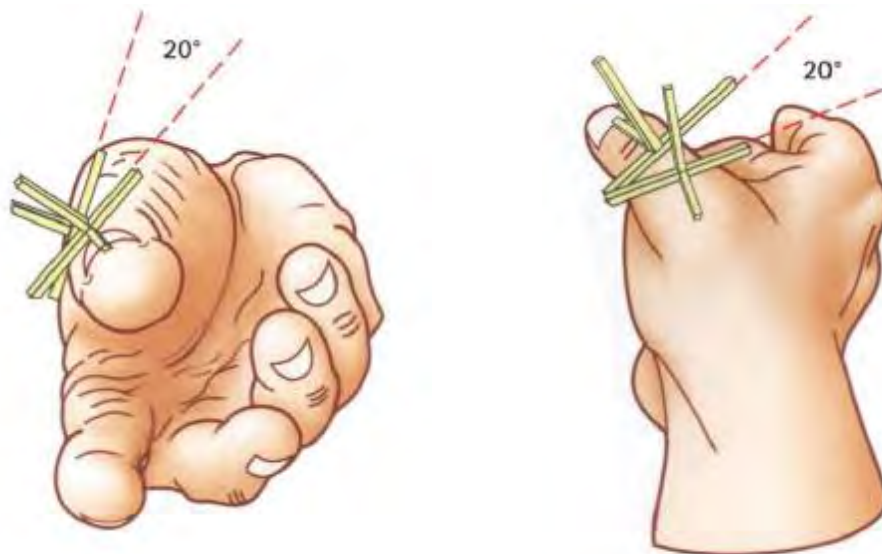
En posición de semiflexión, pueden contraerse voluntariamente tanto los músculos sesamoideos internos como los externos.

La contracción de los músculos sesamoideos internos puede apreciarse en la visión distal, con el pulgar en ligera anteposición y en esta visión proximal, con el pulgar en retroposición en el plano de la palma. Puede observarse gracias a las cerillas que la contracción de los músculos sesamoideos internos conlleva una inclinación cubital de algunos grados y una supinación de 5 a 7°.



Visión distal y proximal de la contracción de los músculos sesamoideos internos.

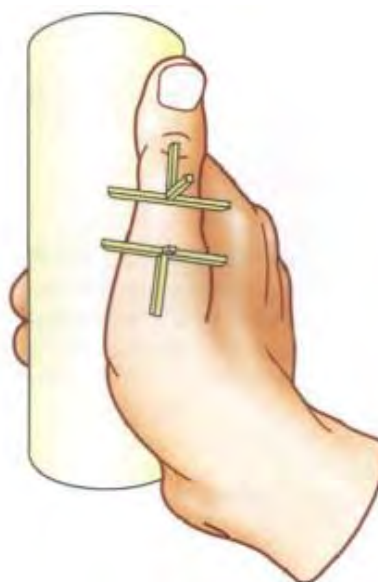
La contracción de los músculos sesamoideos externos, nuevamente, en una visión distal y en una visión proximal produce una inclinación radial, muy visible en la visión proximal, claramente mayor que la inclinación cubital precedente y una pronación de 20°.



Visión distal y proximal de la contracción de los músculos sesamoideos externos.

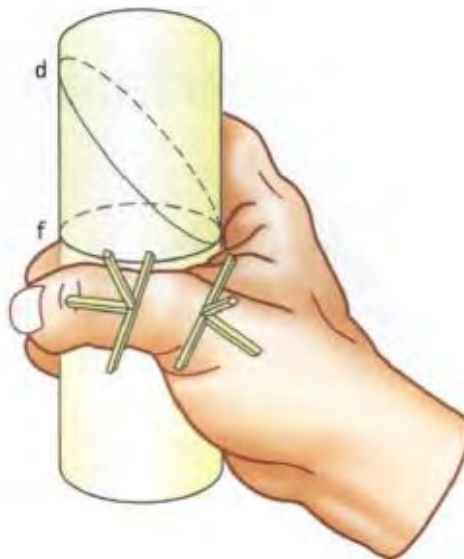
#### 6.6.9. LOS MOVIMIENTOS DE INCLINACIÓN-ROTACIÓN DE LA ARTICULACIÓN METACARPOFALÁNGICA

En las presas cilíndricas con toda la palma de la mano, la acción de los músculos sesamoideos externos sobre la articulación metacarpofalángica es la que garantiza el bloqueo de la presa. Cuando el pulgar no interviene y permanece paralelo al eje del cilindro, la presa no queda bloqueada y el objeto puede caerse fácilmente por el espacio que ha quedado libre entre los dedos y la eminencia tenar.



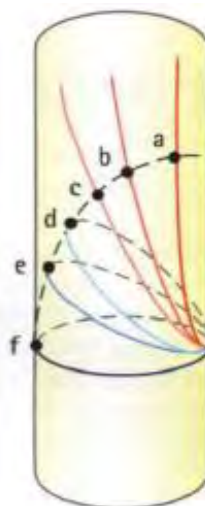
Presa cilíndrica con toda la palma de la mano sin intervención del pulgar.

Si, por el contrario, el pulgar se dirige hacia los otros dedos (Fig. 196), el cilindro ya no puede caer, la inclinación radial de la primera falange, completa el movimiento de anteposición del primer metacarpiano. De esta manera, el pulgar recorre en torno al cilindro el camino más corto, es decir el círculo generador **f** mientras que sin inclinación radial seguiría un trayecto elíptico más largo **d**.



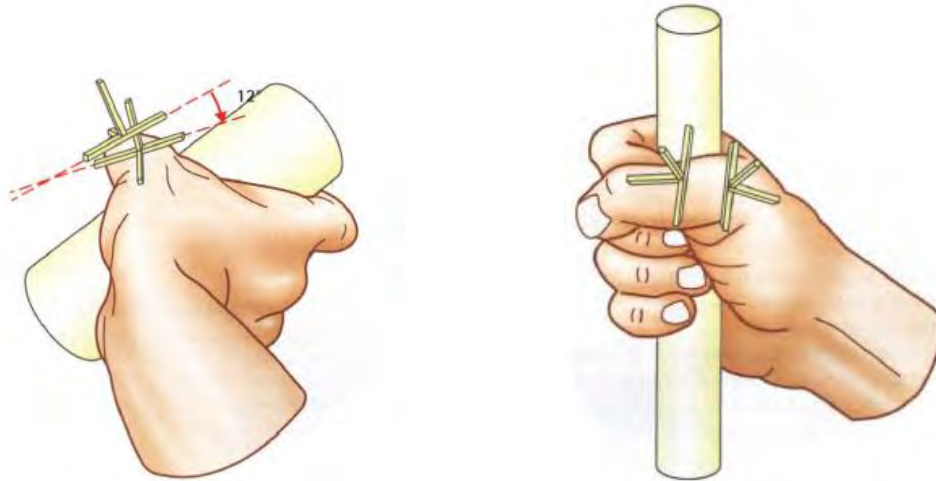
Presas cilíndrica con toda la palma de la mano con intervención del pulgar.

Por lo tanto, la inclinación radial es indispensable para el bloqueo de la presa, tanto mejor cuanto, el anillo formado por el pulgar y el dedo índice que sujeta el objeto, esté más cerrado y recorra en su superficie el trayecto más corto. De la posición donde el pulgar está situado a lo largo de una generatriz del cilindro y por la cual se rompe el anillo de la presa, pasando por las posiciones sucesivas **b – c – d – c** por las cuales el anillo se va cerrando progresivamente hasta, finalmente, la posición **f** donde el pulgar sigue el círculo generador, lo que cierra totalmente el anillo aportando firmeza a la presa.



Inclinación radial para el bloqueo de la presa.

Además, la pronación de la primera falange visible por el ángulo de  $12^\circ$  formado por los dos puntos de referencia transversales, permite que el pulgar contacte con el objeto con la máxima superficie de su cara palmar y no con su borde interno. Aumentando la superficie de contacto, la pronación de la primera falange es pues un factor de consolidación de la presa. Cuando, a causa del diámetro más reducido del cilindro el pulgar cubre parcialmente el dedo índice, el anillo de la presa es todavía más estrecho, el bloqueo absoluto y la presa más firme.



Pronación de la primera falange y cubrimiento parcial del dedo índice por el pulgar.

La fisiología tan particular de la articulación metacarpofalángica del pulgar y de sus músculos motores se adapta notoriamente a la función de prensión.

#### 6.6.10. LA ARTICULACIÓN INTERFALÁNGICA DEL PULGAR

A primera vista, la articulación interfalángica del pulgar no tiene misterio: de tipo troclear, posee un único eje transversal y fijo, que pasa por el centro de la curva de los cóndilos de la primera falange, en torno al cual se efectúan los movimientos de flexoextensión. La flexión activa de  $75$  a  $80^\circ$ . La pasiva, alcanza los  $90^\circ$ .



Flexión activa de la articulación interfalángica del pulgar.



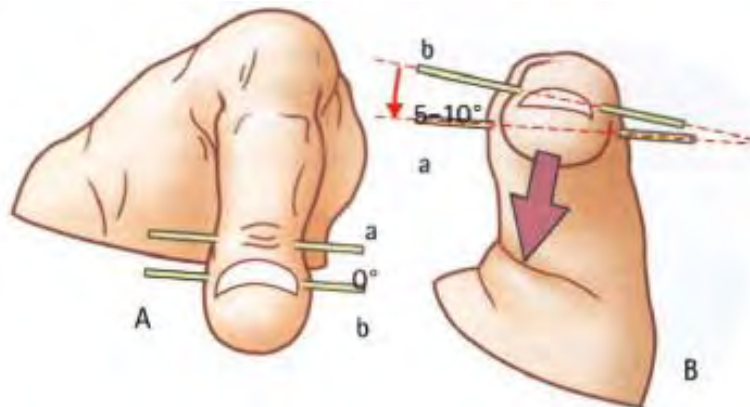
La extensión activa de 5 a 10°, especialmente notable como hiperextensión pasiva que puede ser muy pronunciada (30°) en algunos profesionales, como es el caso de los escultores que utilizan su pulgar a guisa de espátula para trabajar la arcilla.



Extensión activa e hiperextensión pasiva de la articulación interfalángica del pulgar.

La realidad es un tanto más compleja ya que, a medida que se flexiona, la segunda falange rota longitudinalmente de forma automática en el sentido de la pronación.

En una preparación anatómica, tras haber insertado dos espetones paralelos **A**, en la cabeza de la primera falange **a** y en la base de la segunda **b**, en máxima extensión, la flexión de la articulación interfalángica **B** produce la aparición de un ángulo de 5 a 10°, abierto del lado interno, es decir en el sentido de la pronación.



Aparición de un ángulo en el sentido de la pronación de la articulación interfalángica del pulgar.

#### 6.6.11. INTERACCIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA MUÑECA Y DE LA MANO

El movimiento de la muñeca es esencial para aumentar el control motor fino de los dedos y de la mano. Posicionar la mano en la dirección opuesta a la de los dedos altera la longitud funcional de los tendones de los dedos de modo que se pueda obtener el movimiento máximo del dedo. La extensión de la muñeca es sinérgica a la flexión de los dedos e incrementa la longitud de los músculos flexores de los dedos, permitiendo el





aumento de flexión con el estiramiento. De forma contraria, parte de la flexión de la muñeca pone tensión sobre los extensores largos, provocando que los dedos se abran automáticamente y ayuden a la extensión completa del dedo.

Los estudios de Volz y asociados conjuntamente a los de Hazelton y asociados sugieren que para que sea efectiva la toma y tenga la fuerza máxima, la muñeca debe ser estable y debe estar en ligera extensión y desviación cubital.

## 6.7. CADERA

### 6.7.1. INTRODUCCIÓN

La cadera es la articulación proximal del miembro inferior. Su función es orientarlo en todas las direcciones del espacio, para ello posee tres ejes y tres grados de libertad:

- **Eje transversal XOX':** Situado en el plano frontal, alrededor del cual se ejecutan los movimientos de flexo-extensión.
- **Eje anteroposterior YOY':** Situado en el plano sagital, que pasa por el centro de la articulación, alrededor del cual se efectúan los movimientos de abducción-aducción.
- **Eje vertical OZ:** Este plano se confunde con el eje longitudinal OR del miembro inferior cuando la cadera está en posición de alineamiento. Este eje longitudinal permite los movimientos de rotación externa e interna.



Ejes de la cadera.

Los movimientos de la cadera los realiza una sola articulación, la coxofemoral, en forma de enartrosis muy coaptada. Esta característica se opone totalmente a la de la articulación del hombro, verdadero complejo articular cuya articulación escapulohumeral es una enartrosis con poca capacidad de coaptación y una gran movilidad, en detrimento de la estabilidad. En consecuencia la articulación coxofemoral tiene menos amplitud de movimiento,

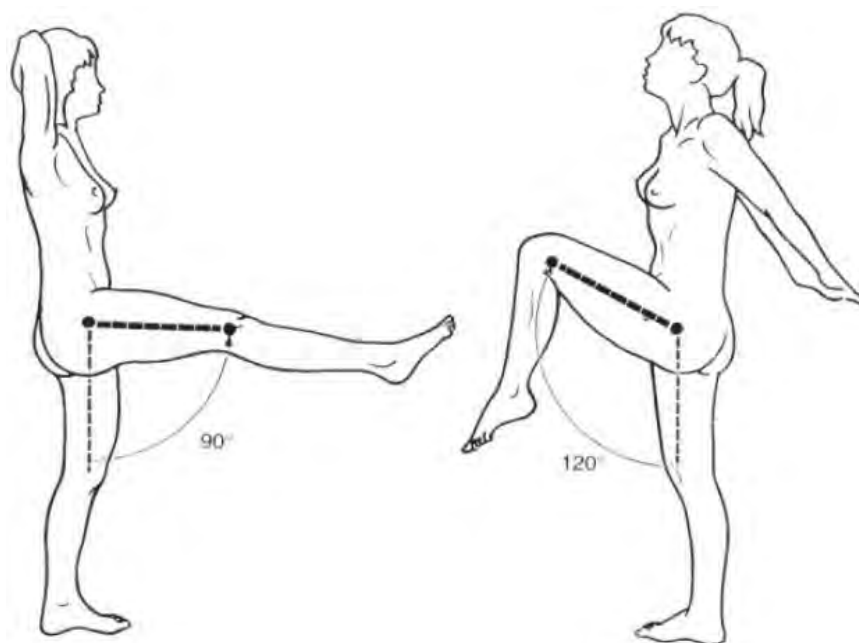
compensada en cierta medida por el raquis lumbar. En cambio, esta articulación es mucho más estable, resultando ser la articulación más difícil de luxar de todo el cuerpo. Todas estas características propias de la cadera están condicionadas por las funciones de soporte del peso corporal y de locomoción, desempeñadas por el mismo miembro inferior.

Precisamente fue a propósito de la articulación de la cadera que surgió la era de las prótesis articulares, transformando la cirugía del aparato locomotor. Esta articulación, aparentemente más sencilla de amoldar, puesto que sus superficies articulares son muy parecidas a las de una esfera, todavía plantea bastantes problemas. También gracias a la cadera, la investigación sobre las prótesis se desarrolló de tal forma, que la cantidad de modelos aumento considerablemente.

### 6.7.2. MOVIMIENTOS DE FLEXIÓN DE LA CADERA

La flexión de la cadera es el movimiento que produce el contacto de la cara anterior del muslo con el tronco, de forma que el muslo y el resto del miembro inferior sobrepasan el plano frontal de la articulación, quedando por delante del mismo.

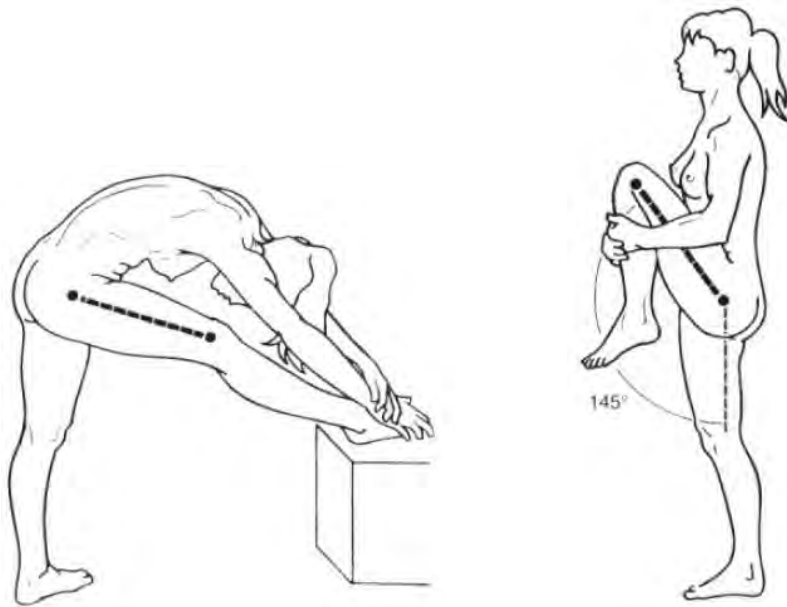
La amplitud de la flexión varía según distintos factores. De forma general la flexión activa de la cadera no es tan amplia como la pasiva. La posición de la rodilla también interviene en la amplitud de la flexión. Cuando la rodilla está extendida, la flexión no supera los  $90^\circ$ , mientras que cuando la rodilla está flexionada alcanza e incluso sobrepasa los  $120^\circ$ .



Amplitud de la flexión activa de la cadera según posición de la rodilla.

En lo que respecta a la flexión pasiva, su amplitud supera siempre los  $120^\circ$ , pero de nuevo la posición de la rodilla es importante. Si la rodilla está extendida la flexión es mucho menor que si está flexionada. En este último caso, la amplitud sobrepasa los  $140^\circ$  y el muslo contacta casi totalmente con el tórax. La flexión de la rodilla, siempre que los

isquiotibiales estén relajados, permite una mayor flexión de la cadera.



Amplitud de la flexión pasiva de la cadera según posición de la rodilla.

Si se flexionan ambas caderas a la vez de forma pasiva, mientras que las rodillas están también flexionadas, la cara anterior de los muslos contacta ampliamente con el tronco, puesto que a la flexión de las articulaciones coxofemorales se añade la retroversión pélvica borrando la lordosis lumbar.



Amplitud de la flexión pasiva de ambas caderas a la vez.

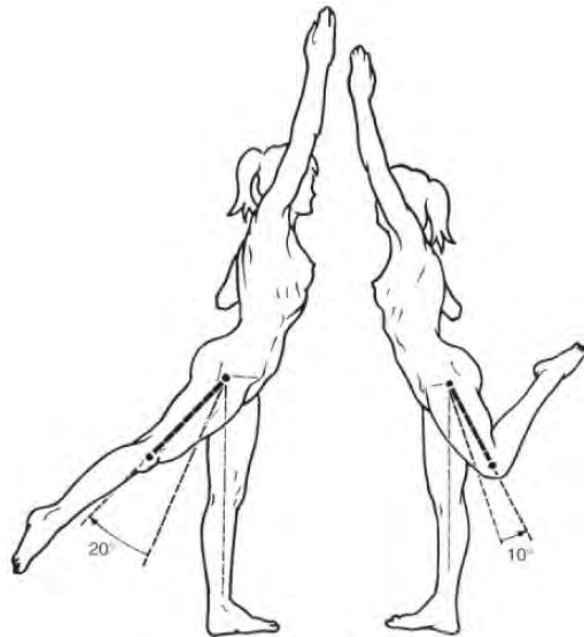
### 6.7.3. MOVIMIENTOS DE EXTENSIÓN DE LA CADERA

La extensión dirige el miembro inferior por detrás del plano frontal.

La amplitud de la extensión de la cadera es mucho menor que la flexión, estando limitada por la tensión del ligamento iliofemoral.

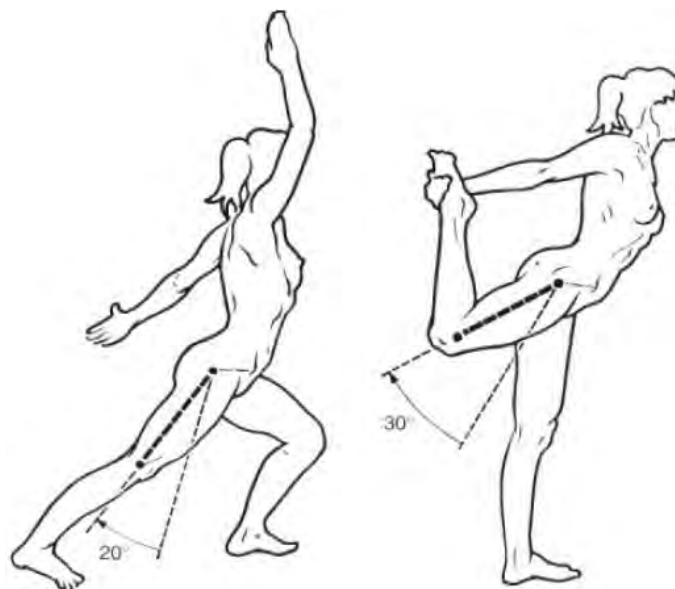
La extensión activa es de menor amplitud que la extensión pasiva. Cuando la rodilla está extendida, la extensión de la cadera es mayor ( $20^\circ$ ) que cuando está flexionada. Esto se debe a que los músculos isquiotibiales pierden totalmente su eficacia como extensores de

la cadera, puesto que han utilizado gran parte de su fuerza de contracción en la flexión de la rodilla.



Amplitud de la extensión activa de la cadera según posición de la rodilla.

La extensión pasiva no es más que de 20° en el paso hacia delante, alcanza los 30° cuando el miembro inferior se sitúa muy hacia atrás.



Amplitud de la extensión pasiva de la cadera.

Hay que recalcar que la extensión de la cadera aumenta notablemente debido a la anteversión pélvica producida por una hiperlordosis lumbar.

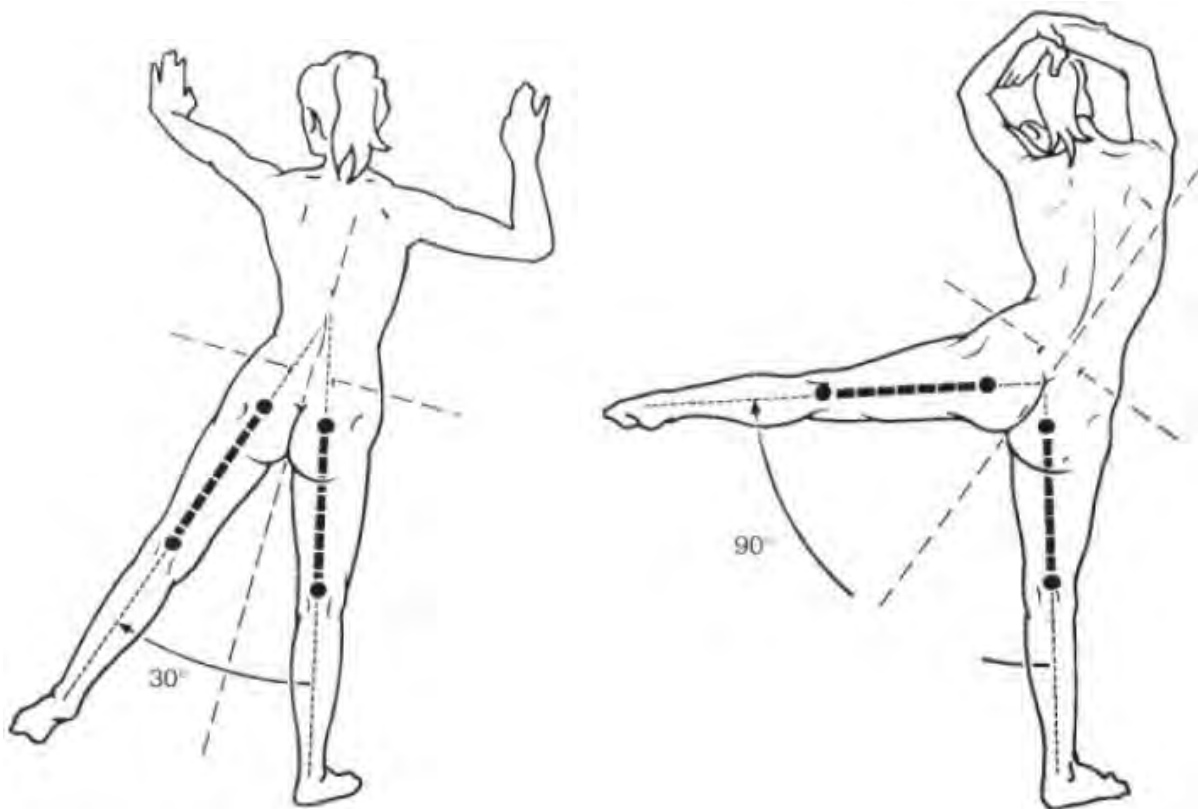
Las amplitudes aquí referidas corresponden a individuos *normales*, sin ningún tipo de entrenamiento previo. Se pueden aumentar considerablemente gracias al ejercicio y al entrenamiento apropiado.

#### 6.7.4. MOVIMIENTOS DE ABDUCCIÓN DE LA CADERA

La abducción dirige el miembro inferior hacia fuera, y lo aleja del plano de simetría del cuerpo.

Si teóricamente es factible realizar la abducción de una sola cadera, en la práctica, la abducción de una cadera se acompaña de una abducción idéntica de la otra cadera. Esto ocurre a partir de los  $30^\circ$ , amplitud en la que se inicia una basculación de la pelvis mediante la inclinación de la línea que une las dos fosas laterales e inferiores. Prolongando el eje de ambos miembros inferiores, se constata que se cortan el eje simétrico de la pelvis, por lo tanto, se puede deducir que en esta posición ambas caderas están en abducción de  $15^\circ$ .

Cuando se completa el movimiento de abducción, el ángulo formado por los dos miembros inferiores alcanza los  $90^\circ$ . La simetría de abducción de ambas caderas reaparece, pudiendo deducir que la máxima amplitud de abducción de una cadera es de  $45^\circ$ . En ese preciso instante la pelvis tiene una inclinación de  $45^\circ$  con respecto a la horizontal, del lado de la carga. El raquis, en conjunto, compensa esta inclinación de la pelvis mediante una convexidad hacia el lado que carga.



Movimiento de abducción de la cadera a  $30^\circ$  y a  $90^\circ$ .

La abducción está limitada por el impacto óseo del cuello del fémur con la ceja cotiloidea, aunque antes de que esto ocurra intervienen los músculos aductores y los ligamentos ilio y pubofemorales.

Mediante ejercicio y entrenamiento adecuados es posible aumentar la máxima amplitud de abducción, como en el caso de las bailarinas, que pueden alcanzar de  $120^\circ$  a  $130^\circ$  de abducción activa, es decir sin apoyo. En cuanto a la abducción pasiva, los individuos que se entrenan pueden alcanzar los  $180^\circ$  de abducción frontal, que en realidad, ya no se trata de abducción pura, puesto que para distender los ligamentos de Bertin la pelvis bascula hacia delante mientras que el raquis lumbar se hiperlordosa de forma que la cadera está en abducción-flexión.

#### 6.7.5. MOVIMIENTOS DE ADUCCIÓN DE LA CADERA

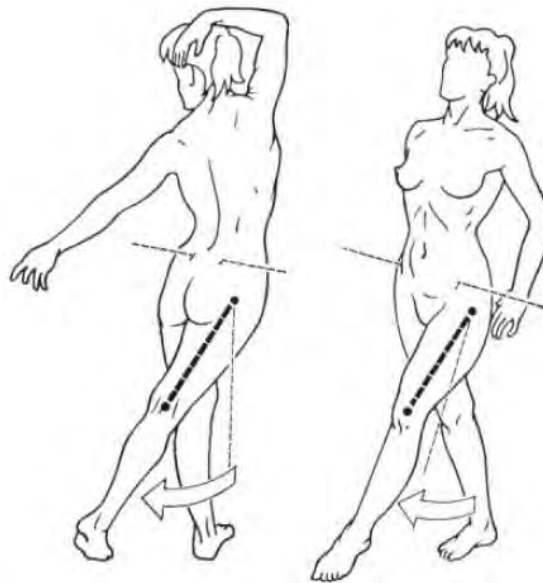
La aducción lleva el miembro inferior hacia dentro y lo aproxima al plano de simetría del cuerpo. Dado que en la posición de referencia ambos miembros inferiores están en contacto, no existe movimiento de aducción pura.

Sin embargo, existen movimientos de aducción relativa cuando, a partir de una posición de abducción, el miembro inferior se dirige hacia dentro.



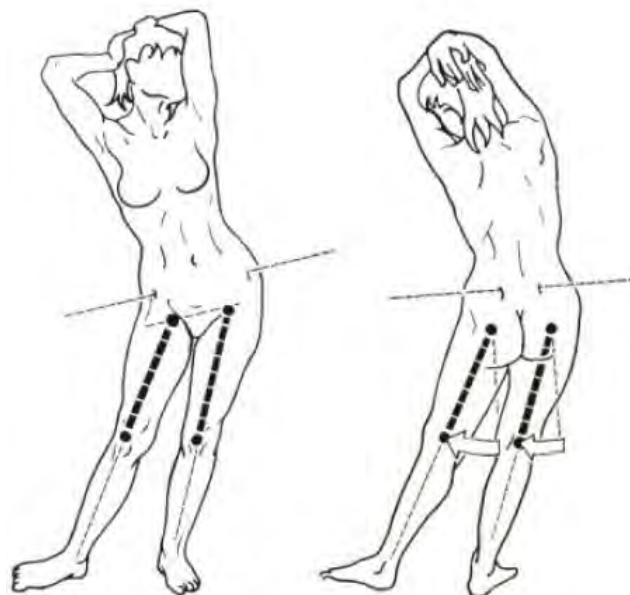
Movimiento de aducción relativa de la cadera.

También existen movimientos de aducción combinados con extensión de cadera y movimientos de aducción combinados con flexión de cadera.



Movimiento de aducción combinada con extensión y con flexión de la cadera.

Por último, existen movimientos de aducción de una cadera combinados con una abducción de la otra cadera, acompañados de una inclinación de la pelvis y de una incurvación del raquis. A partir del momento en el que los pies se separan, y esto es necesario para asegurar el equilibrio del cuerpo, el ángulo de aducción de una cadera no es exactamente el mismo que el ángulo de abducción de la otra cadera. Su diferencia es el ángulo formado por los ejes de ambos miembros inferiores en la posición simétrica de partida.



Movimiento de aducción combinada con abducción de la otra cadera.

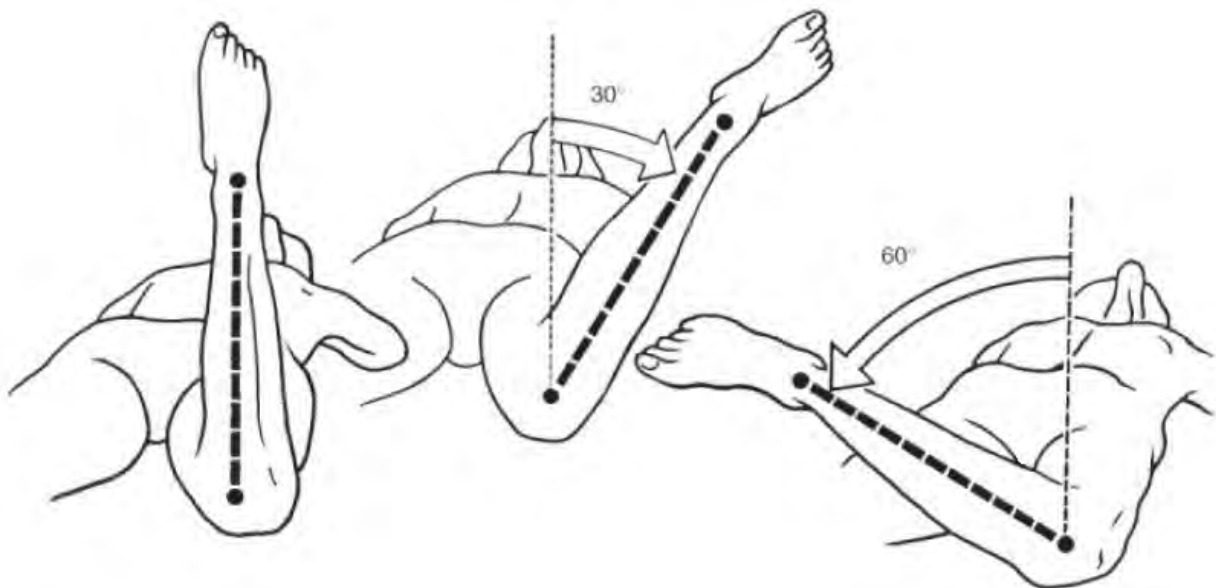


En todos estos movimientos de aducción combinada, la amplitud máxima de aducción es de  $30^\circ$ . De entre todos estos movimientos de aducción combinada, hay uno que efectúa una posición bastante frecuente, la sedestación con las piernas cruzadas. En este caso, la aducción se asocia a la flexión y rotación externa de cadera y es la posición más inestable para la cadera.

#### 6.7.6. MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN LONGITUDINAL DE LA CADERA

Los movimientos de rotación longitudinal de la cadera se realizan alrededor del eje mecánico del miembro inferior, eje OR. En la posición normal de alineamiento, este eje se confunde con el eje vertical de la articulación coxofemoral, eje OZ. En estas condiciones, la rotación externa es el movimiento que dirige la punta del pie hacia fuera, mientras que la rotación interna dirige la punta del pie hacia dentro. Cuando la rodilla está totalmente extendida no existe ningún movimiento de rotación en la misma, siendo la cadera, en este caso, la única responsable de los movimientos de rotación.

Sin embargo, ésta no es la posición utilizada para apreciar la amplitud de los movimientos de rotación. Es preferible realizar este estudio con el individuo en decúbito prono, o sentado en el borde de una camilla con la rodilla flexionada en ángulo recto. En decúbito prono, la posición de referencia se obtiene cuando la rodilla flexionada en ángulo recto está vertical. A partir de esta posición, cuando la pierna se dirige hacia fuera, se mide la rotación interna, cuya amplitud máxima es de  $30$  a  $40^\circ$ . Cuando la pierna se dirige hacia dentro, se mide la rotación externa, cuya amplitud máxima es de  $60^\circ$ .



Posición de referencia, rotación interna y rotación externa de la cadera en posición decúbito prono.

En sedestación al borde de la camilla, cadera y rodilla flexionadas en ángulo recto, la rotación externa se mide igual que en el caso anterior, cuando la pierna se dirige hacia dentro, con el muslo girando en el sitio, y la rotación interna cuando la pierna se dirige

hacia fuera. En esta posición, la amplitud máxima de la rotación externa puede ser mayor que en la posición de decúbito prono, ya que la flexión de la cadera distiende los ligamentos ilio y pubofemorales, que son los principales factores limitantes de la rotación externa.

En la posición de sedestación con las piernas cruzadas, la rotación externa se combina con una flexión que sobrepasa los 90° y con una abducción. Los adeptos al yoga llegan a forzar la rotación externa hasta tal punto que los ejes de ambas piernas quedan paralelos, superpuestos y horizontales.

La amplitud de las rotaciones depende del ángulo de anteversión del cuello femoral. Esta anteversión está, por lo general, muy acentuada en los niños, lo que conlleva una rotación interna de la pierna, los niños andan con *los pies hacia dentro* y presenta con frecuencia un pie plano valgo bilateral. Con el crecimiento, el ángulo de anteversión recupera su valor normal, haciendo que los problemas citados anteriormente desaparezcan. Sin embargo, es necesario citar una circunstancia en la que la anteversión puede permanecer perenne e incluso exagerada. Algunos niños adquieren el hábito de sentarse en el suelo sobre sus talones con las rodillas flexionadas, esto conlleva una rotación interna del fémur y, como la plasticidad del esqueleto es todavía muy grande, una anteversión exagerada de los cuellos femorales. Una forma de remediar esta situación es obligar al niño a adoptar una actitud inversa, es decir sentarse con las piernas cruzadas, o todavía mejor, en la posición de yoga, lo que, con el tiempo, moldea el cuello femoral en retroversión.

La medición del ángulo de anteversión de los cuellos femorales planteaba, hasta hace poco, al menos con el método radiológico clásico, algunas dificultades para interpretar los resultados. En la actualidad, gracias al escáner, esta medición se lleva a cabo de forma simple y precisa. Por lo tanto, conviene utilizar este método cuando se pretende diagnosticar rotaciones defectuosas de los miembros inferiores, ya que, por lo general, el problema se inicia en la cadera.

#### 6.7.7. EL MOVIMIENTO DE CIRCUNDUCCIÓN DE LA CADERA

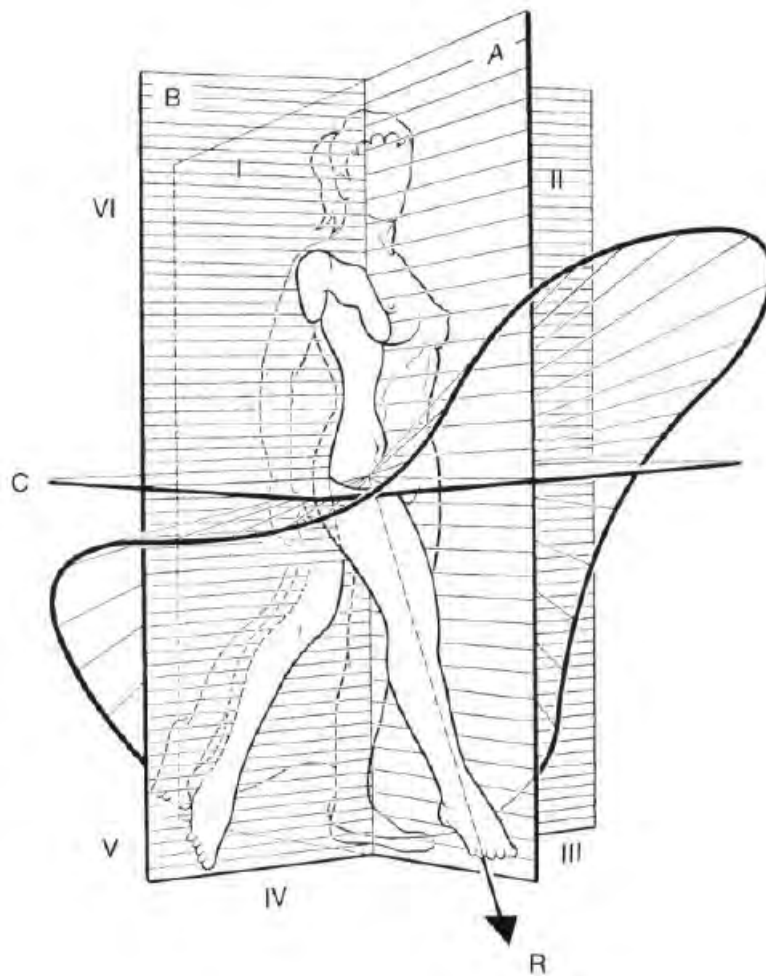
Como en el caso de todas las articulaciones que tienen tres grados de libertad, el movimiento de circunducción de la cadera se define como la combinación simultánea de movimientos elementales efectuados alrededor de tres ejes. Cuando la circunducción alcanza su máxima amplitud, el eje del miembro inferior describe en el espacio un cono cuyo vértice resulta ser el centro de la articulación coxofemoral, es el cono de circunducción.

Este cono dista mucho de ser regular, puesto que las amplitudes máximas no son iguales en todas las direcciones del espacio. Por lo tanto, la trayectoria descrita por la porción distal del miembro inferior no es un círculo, sino una curva sinuosa que recorre distintos

sectores del espacio determinados por la intersección de los tres planos de referencia:

- Plano sagital, en el que se realizan los movimientos de flexo-extensión.
- Plano frontal, en el que se ejecutan los movimientos de abducción-aducción.
- Plano horizontal.

Los ocho sectores del espacio numerados del I al VIII demuestran que la trayectoria atraviesa sucesivamente los sectores III, II, I, IV, V y VIII<sup>30</sup>.



Planos de referencia de la cadera.

Obsérvese cómo la trayectoria contornea el miembro en carga: si este último se desviase, la trayectoria sufriría un ligero desplazamiento hacia dentro. La flecha R que prolonga hacia abajo, adelante y afuera el miembro inferior en el sector IV representa el eje del cono de circunducción, que corresponde a la posición tanto funcional como de inmovilización de la cadera.

---

<sup>30</sup> Los sectores VI y VII no son visibles en la figura ya que están situados por detrás, entre los planos I y II.

## 6.8. RODILLA

### 6.8.1. INTRODUCCIÓN

La rodilla es la articulación intermedia del miembro inferior. Principalmente, es una articulación de un solo grado de libertad, la flexo-extensión, que le permite aproximar o alejar, en mayor o menor medida, el extremo del miembro a su raíz o, lo que viene a ser lo mismo, regular la distancia del cuerpo con respecto al suelo. La rodilla trabaja, esencialmente, en compresión bajo la acción de la gravedad.

De manera accesoria, la articulación de la rodilla posee un segundo grado de libertad, la rotación sobre el eje longitudinal de la pierna, que sólo aparece cuando la rodilla está flexionada.

Desde el punto de vista mecánico, la articulación de la rodilla es un caso sorprendente, ya que debe conciliar dos imperativos contradictorios:

- Poseer una gran estabilidad en extensión máxima, posición en la que la rodilla hace esfuerzos importantes debido al peso del cuerpo y a la longitud de los brazos de palanca.
- Adquirir una gran movilidad a partir de cierto ángulo de flexión, movilidad necesaria en la carrera y para la orientación óptima del pie en relación a las irregularidades del terreno.

La rodilla resuelve esas contradicciones gracias a dispositivos mecánicos extremadamente ingeniosos. Sin embargo, el poco acoplamiento de las superficies, condición necesaria para una buena movilidad, la expone a esguinces y luxaciones.

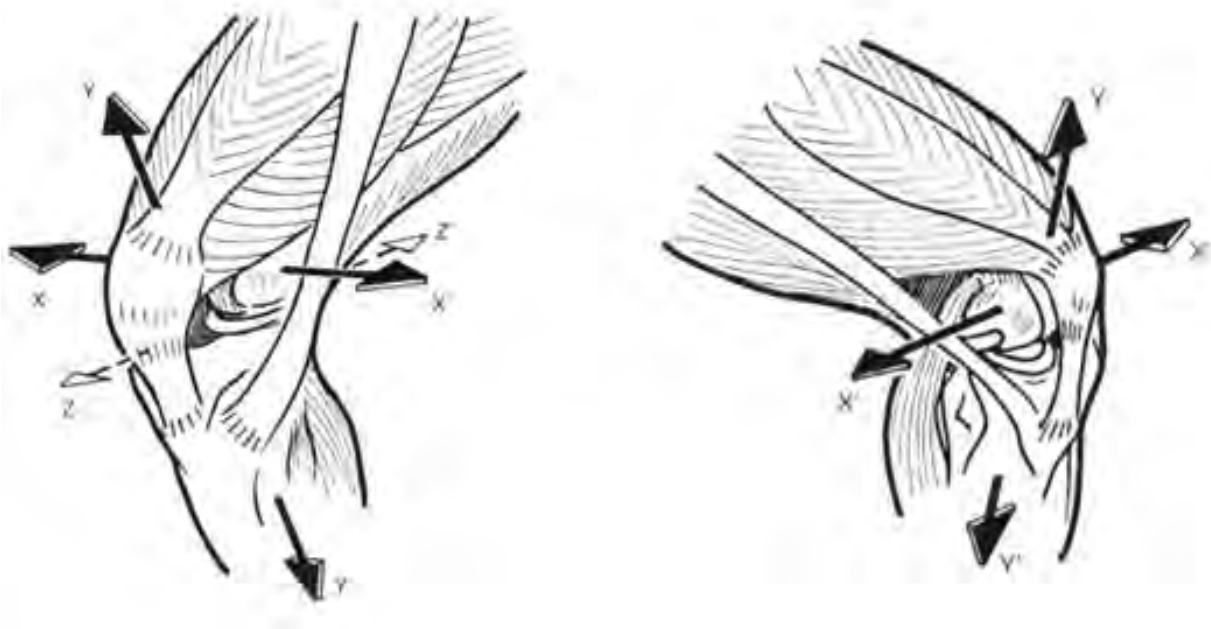
En flexión, posición de inestabilidad, la rodilla está expuesta al máximo a lesiones ligamentosas y meniscales.

En extensión es más vulnerable a las fracturas articulares y a las rupturas ligamentosas.

## 6.8.2. LOS EJES DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA

El primer grado de libertad está condicionado por el eje transversal  $XX'$ , alrededor del cual se efectúan movimientos de flexoextensión en un plano sagital. Dicho eje  $XX'$ , incluido en un plano frontal, atraviesa horizontalmente los cóndilos femorales.

Teniendo en cuenta la forma *en voladizo* del cuello femoral, el eje de la diálisis femoral no está situado, exactamente, en la prolongación del eje del esqueleto de la pierna, y forma con este último un ángulo obtuso, abierto hacia dentro, de  $170-175^\circ$ . Se trata del valgus fisiológico de la rodilla.



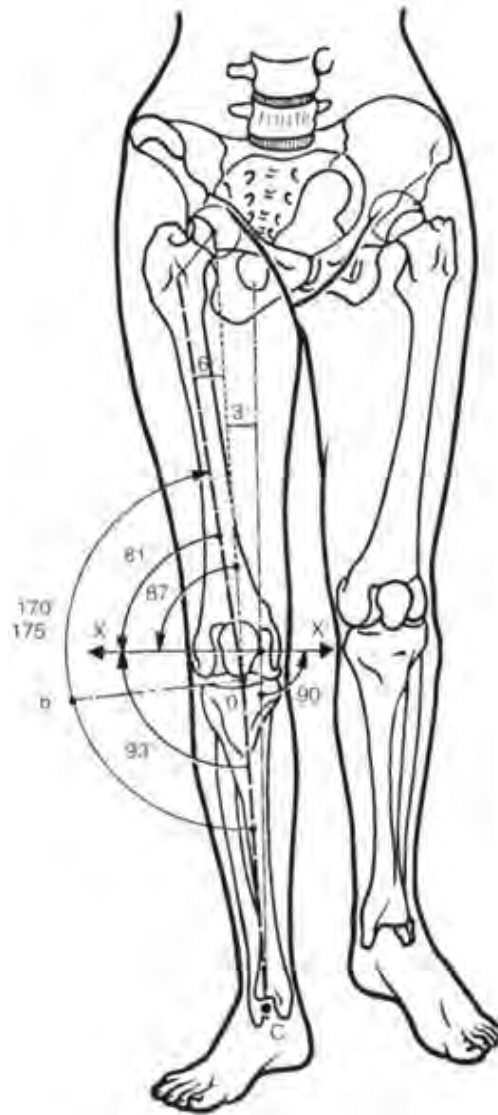
Ejes de la articulación de la rodilla.

Sin embargo, los tres centros articulares de la cadera, de la rodilla y del tobillo están alineados en una misma recta, que representa el eje mecánico del miembro inferior. En la pierna, este eje se confunde con el eje del esqueleto, sin embargo, en el muslo, el eje mecánico forma un ángulo de  $6^\circ$  con el eje del fémur.

Por otra parte, el hecho de que las caderas estén más separadas entre sí que los tobillos hace que el eje mecánico del miembro inferior sea ligeramente oblicuo hacia abajo y adentro, formando un ángulo de  $3^\circ$  con la vertical. Este ángulo será más abierto cuanto más amplia sea la pelvis, como es el caso de la mujer. Esto explica por qué el valgus fisiológico de la rodilla está más acentuado en la mujer que en el hombre.

Al ser horizontal, **el eje de flexoextensión  $XX'$** , no constituye la bisectriz (Ob) del ángulo de valgus. Se miden  $81^\circ$  entre  $XX'$  y el eje del fémur, y  $93^\circ$  entre  $XX'$  y el eje de la pierna. De lo cual se deduce que, en máxima flexión, el eje de la pierna no se sitúa exactamente detrás del eje del fémur, sino por detrás y un poco hacia dentro, lo que desplaza el talón

hacia el plano de simetría. La flexión máxima hace que el talón contacte con la nalga, a la altura de la tuberosidad isquiática.



Amplitud de movimiento de la articulación de la rodilla.

El segundo grado de libertad consiste en la rotación alrededor del eje longitudinal  $YY'$  de la pierna, con la rodilla en flexión. La estructura de la rodilla hace esta rotación imposible cuando la articulación está en máxima extensión. El eje de la pierna se confunde entonces con el eje mecánico del miembro inferior y la rotación axial ya no se localiza en la rodilla, sino en la cadera que la supe.

En la figura anterior (Ejes de articulación de la rodilla) se ha dibujado un eje  $ZZ'$  anteroposterior y perpendicular a los dos precedentes. Este eje no presupone un tercer grado de libertad. Cuando la rodilla está flexionada, cierta holgura mecánica permite movimientos de lateralidad de 1 a 2 cm. en el tobillo, pero en extensión completa, estos movimientos de lateralidad desaparecen totalmente, si los hubiera, deben considerarse patológicos.

Sin embargo, es necesario saber que los movimientos de lateralidad aparecen normalmente tan pronto se flexiona mínimamente la rodilla. Para saber si son patológicos, es indispensable compararlos con los del otro lado, con la condición indispensable de que la rodilla esté sana.

### 6.8.3. LOS MOVIMIENTOS DE FLEXOEXTENSIÓN

La flexoextensión es el movimiento principal de la rodilla. Su amplitud se mide a partir de la posición de referencia. En la posición de referencia el eje de la pierna se sitúa en la prolongación del eje del muslo. De perfil, el eje del fémur se continúa sin ninguna angulación, con el eje del esqueleto de la pierna. En esta posición de referencia, el miembro inferior posee su máxima longitud.

La extensión se define como el movimiento que aleja la cara posterior de la pierna de la cara posterior del muslo. A decir verdad, no existe una extensión absoluta, ya que en la posición de referencia el miembro inferior ya está en su máximo estado de alargamiento. Sin embargo, es posible realizar, sobretodo pasivamente, un movimiento de extensión de  $5^\circ$  a  $10^\circ$  a partir de la posición de referencia. Este movimiento recibe el nombre, erróneo, de *hiperextensión*. En algunos individuos, esta hiperextensión está acentuada por razones patológicas, provocando entonces un *genu recurvatum*.

La extensión activa, rara vez sobrepasa, y por poco, la posición de referencia, y esta posibilidad depende esencialmente de la posición de la cadera. De hecho, la eficacia del recto anterior, como extensor de la rodilla, aumenta con la extensión de la cadera. Lo que significa que la extensión previa de la cadera prepara la extensión de la rodilla.

La extensión relativa es el movimiento que completa la extensión de la rodilla, a partir de cualquier posición de flexión, se trata del movimiento que se efectúa normalmente durante la marcha, cuando el miembro *oscilante* se desplaza hacia delante para contactar con el suelo.

La flexión es el movimiento que aproxima la cara posterior de la pierna a la cara posterior del muslo. Existen movimientos de flexión absoluta, a partir de la posición de referencia, y movimientos de flexión relativa, a partir de cualquier posición en flexión.

La amplitud de la flexión de rodilla es distinta según sea la posición de la cadera y de acuerdo con las modalidades del propio movimiento.

La flexión activa alcanza los  $140^\circ$  si la cadera está previamente flexionada, y únicamente llegaría a los  $120^\circ$  si la cadera está en extensión. Esta diferencia de amplitud se debe a la disminución de la eficacia de los isquiotibiales cuando la cadera está extendida. Sin embargo, es posible sobrepasar los  $120^\circ$  de flexión de rodilla con la cadera extendida, gracias a la contracción balística. Los isquiotibiales, a través de una contracción tan

potente como brusca, inician la flexión de rodilla que finaliza con una flexión pasiva.

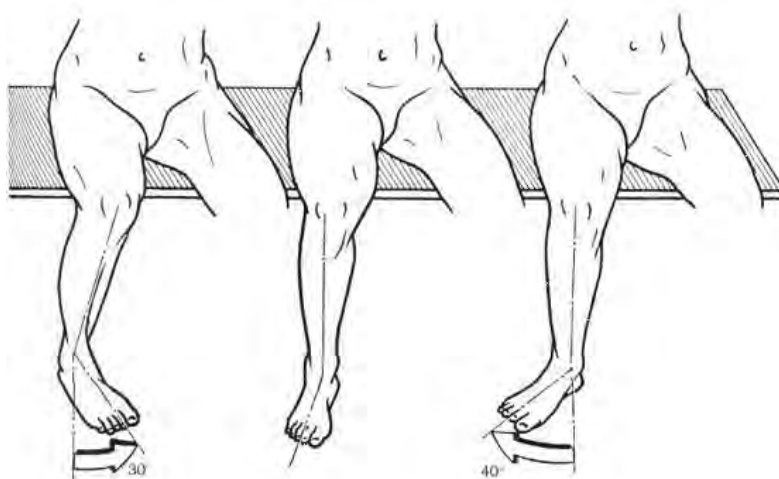
La flexión pasiva de la rodilla alcanza una amplitud de  $160^\circ$  y permite que el talón contacte con la nalga. Este movimiento es una prueba muy importante para comprobar la libertad de la flexión de rodilla, y para constatar la flexión pasiva de la misma se puede medir la distancia que separa el talón de la nalga. En condiciones normales, la flexión sólo está limitada por el contacto elástico de las masas musculares de la pantorrilla y del muslo. En condiciones patológicas, la flexión pasiva de la rodilla está limitada por la retracción del aparato extensor, principalmente el cuádriceps, o por las retracciones capsulares.

Si siempre es factible detectar un déficit de flexión diferenciando el grado de flexión alcanzado y la amplitud de la flexión máxima ( $160^\circ$ ), o también, comprobando la distancia talón/nalga, el déficit de extensión se designa por un ángulo negativo, por ejemplo  $-60^\circ$ , es el que se mide entre la posición de extensión pasiva máxima y la rectitud. De esta forma, se puede decir que una pierna está flexionada a  $120^\circ$ , o, si no puede alcanzar mayor extensión, que presenta un déficit de extensión de  $-120^\circ$ .

#### 6.8.4. LA ROTACIÓN AXIAL DE LA RODILLA

La rotación de la pierna alrededor de su eje longitudinal, es un movimiento que sólo se puede realizar con la rodilla flexionada, mientras que con la rodilla extendida el bloqueo articular une la tibia al fémur.

Para medir la rotación axial activa, se debe flexionar la rodilla en ángulo recto, el individuo sentado con las piernas colgando al borde de una camilla. La flexión de la rodilla excluye la rotación de cadera. En la posición de referencia, la punta del pie se dirige ligeramente hacia fuera.



Rotación activa de la articulación de la rodilla.

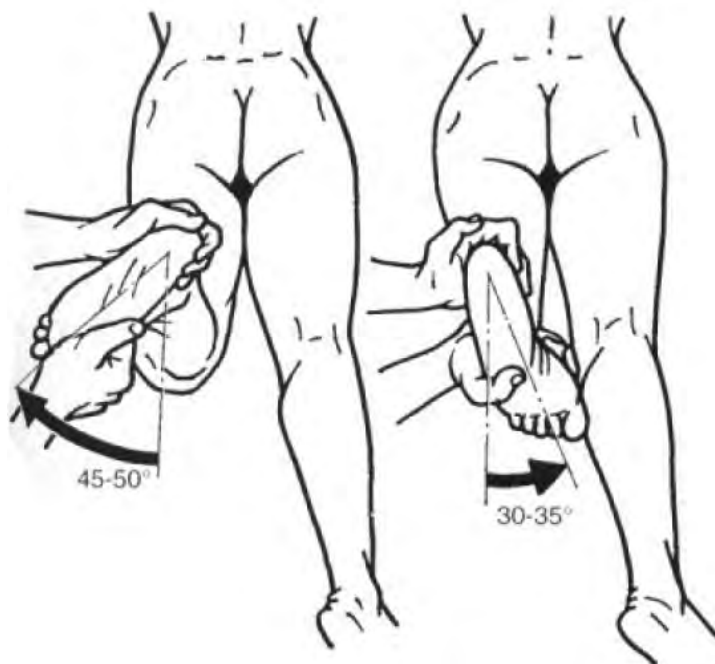


La rotación interna dirige la punta del pie hacia dentro e interviene en gran parte en el movimiento de aducción del pie.

La rotación externa dirige la punta del pie hacia fuera e interviene también en el movimiento de abducción del pie.

Para Fick, la rotación externa es de  $40^\circ$  contra los  $30^\circ$  de rotación interna. Esta amplitud varía con el grado de flexión, ya que, según este autor, la rotación externa es de  $32^\circ$  cuando la rodilla está flexionada a  $30^\circ$  y de  $42^\circ$  cuando está flexionada en ángulo recto.

La medición de la rotación axial pasiva se realiza con el individuo en decúbito prono, la rodilla flexionada en ángulo recto. El examinador sujeta el pie con ambas manos y lo hace girar dirigiendo su punta hacia fuera y hacia dentro. Como cabía esperar, esta rotación pasiva es ligeramente más amplia que la rotación activa.



Rotación pasiva de la articulación de la rodilla.

Por último, existe una rotación axial denominada *automática*, puesto que está inevitable e involuntariamente relacionada con los movimientos de flexoextensión. Tiene lugar, sobre todo, en los últimos grados de extensión o al inicio de la flexión. Cuando la rodilla se extiende, el pie se ve arrastrado hacia la rotación externa. A la inversa, cuando la rodilla está flexionada, la pierna gira en rotación interna. El mismo movimiento se realiza cuando, al plegar las piernas sobre el cuerpo, la punta del pie se dirige hacia dentro, postura que también corresponde a la posición fetal.

## 6.9. PIE Y TOBILLO

### 6.9.1. INTRODUCCIÓN

La biomecánica del pie y del tobillo es compleja, y ambas están asociadas. El pie es una parte mecánica integral de la extremidad inferior, necesaria para la marcha y la estabilidad. El tobillo transfiere la carga de la extremidad inferior al pie e influye íntimamente en la orientación del pie con el suelo.

El pie está compuesto de 28 huesos, cuyos movimientos están estrechamente interrelacionados. Además de actuar como una plataforma de soporte estructural capaz de aguantar cargas repetitivas de múltiplos del peso corporal, el complejo pie-tobillo también debe ser capaz de ajustarse a diferentes superficies de suelo y variar las velocidades de locomoción. Las cualidades únicas del pie le permiten ser rígido o flexible según las necesidades.

El tobillo está compuesto por tres huesos que forman la mortaja del tobillo. Este complejo articular se constituye por las articulaciones tibio-astragalina, peroneo-astragalina y tibio-peronea. El tobillo es una articulación de bisagra cuya estabilidad depende de la congruencia articular y de los ligamentos externos, internos y los de la sindesmosis.

La mortaja del tobillo forma una bisagra simple que consiste en el astrágalo, el maléolo medial, la meseta tibial y el maléolo lateral. El astrágalo tiene la forma de un cono o pirámide truncada, con el apex dirigido medialmente. El astrágalo es 4,2mm más ancho anterior que posteriormente. Se ha descrito un único eje de la articulación del tobillo pasando inmediatamente distal al maléolo medial e inmediatamente distal y anterior al maléolo lateral<sup>31</sup>. El eje único del tobillo se angula posterolateralmente en el plano transversal e inferolateralmente en el plano coronal. Varios autores han discutido la teoría del eje único de la articulación del tobillo y han descrito múltiples ejes de movimiento cuando el tobillo se mueve desde la flexión dorsal hasta la flexión plantar. Se produce una pequeña cantidad de rotación astragalina durante el movimiento del tobillo, que varía con la carga axial. El astrágalo rotó externamente 9° desde la posición neutra a los 30° de flexión dorsal. De los 0 a los 10° de flexión plantar, el astrágalo rotó internamente 1,4°, seguido de una rotación externa de 0,6° a los 30° de flexión plantar.

---

<sup>31</sup> Inman, 1976

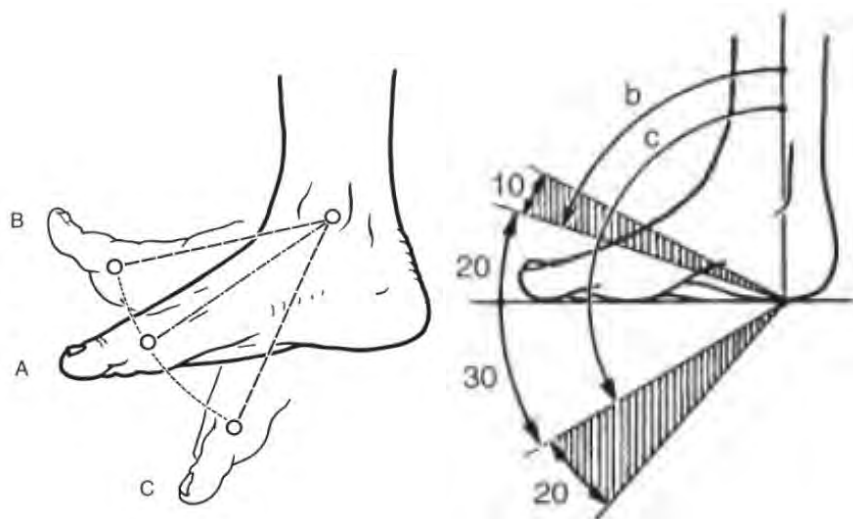
## 6.9.2. FLEXOEXTENSIÓN DEL TOBILLO

El movimiento global del pie es complejo y tiene lugar en torno a tres ejes y sobre tres planos. La flexión-extensión tiene lugar en el plano sagital, la abducción-aducción en el plano horizontal o transversal, y la inversión-eversión en el plano coronal o frontal. La supinación y la pronación son términos comúnmente usados para describir el posicionamiento de la superficie plantar del pie y tienen lugar principalmente en la articulación subastragalina (calcáneo-astragalina).

La posición de referencia de la flexoextensión del tobillo es aquella en la que la planta del pie es perpendicular al eje de la pierna. A partir de esta posición, la flexión del tobillo se define como el movimiento que aproxima el dorso del pie a la cara anterior de la pierna. También se denomina flexión dorsal o dorsiflexión.

Por el contrario, la extensión de la articulación tibiotarsiana aleja el dorso del pie de la cara anterior de la pierna mientras que el pie tiende a situarse en la prolongación de la pierna. Este movimiento también se denomina flexión plantar, aunque no es la más adecuada, puesto que las flexiones son aquellos movimientos que acercan los segmentos de los miembros al tronco.

La amplitud de la extensión es mucho mayor que la de la flexión. Para medir estos ángulos, es mejor valorar el ángulo entre la planta del pie y el eje de la pierna, que tomar como referencia el centro de la articulación tibiotarsiana. Cuando este ángulo es agudo, se trata de una flexión. Su amplitud es de 20 a 30°. Cuando este ángulo es obtuso, se trata de extensión. Su amplitud es de 30 a 50°.



Amplitud de la flexoextensión del tobillo.

En los movimientos extremos no sólo interviene la tibiotarsiana, sino que se añade la amplitud propia de las articulaciones del tarso, que no por ser menos importante debe despreciarse. En la máxima flexión, las articulaciones del tarso añaden algunos grados

mientras que la bóveda se aplanan. A la inversa, en la máxima extensión, la amplitud adicional se debe a un hundimiento de la bóveda.



Amplitud añadida a la flexoextensión del tobillo por las articulaciones del tarso.

Durante la supinación la suela se orienta medialmente, y durante la pronación la suela se orienta lateralmente. La supinación es una combinación de inversión, flexión y aducción. La pronación es una combinación de eversión, extensión y abducción.

### 6.9.3. LOS MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN LONGITUDINAL Y DE LATERALIDAD DEL PIE

Además de los movimientos de flexoextensión, localizados en la articulación tibiotarsiana, el pie también puede realizar movimientos en torno al eje vertical de la pierna y de su propio eje longitudinal y vertical.

En torno al eje vertical, se realizan en el plano horizontal, los movimientos de aducción-abducción.

La aducción se consigue cuando la punta del pie se dirige hacia dentro, hacia el plano de simetría del cuerpo.



Movimiento de aducción del pie.

La abducción se consigue cuando la punta del pie se dirige hacia fuera y se aleja del plano de simetría.



Movimiento de abducción del pie.

La amplitud total de los movimientos de aducción-abducción realizados en el pie tan solo es de 35 a 45°. Sin embargo, estos movimientos de la punta del pie en el plano horizontal pueden ser producto de la rotación externa-interna de la pierna (rodilla flexionada) o de la rotación de todo el miembro inferior a partir de la cadera (rodilla extendida). En este caso son mucho más amplios y pueden alcanzar los 90°, en cada sentido (bailarinas de clásico).

En torno al eje longitudinal, el pie gira de tal forma que la planta se orienta bien hacia dentro, por analogía con el miembro superior, se define este movimiento como una supinación; bien hacia fuera, y entonces se denomina pronación.



Supinación y pronación del pie.

La amplitud de la supinación<sup>32</sup>, 52°, es mayor que la de pronación, 25-30°.

Los movimientos que se acaban de definir como aducción-abducción y pronación-

---

<sup>32</sup> Biesalski y Mayer, 1916

supinación, en realidad no existen en estado puro en las articulaciones del pie. De hecho, se podrá constatar que estas articulaciones están configuradas de tal forma que un movimiento en uno de los planos se acompaña obligatoriamente por un movimiento en los otros dos planos. De esta forma, la aducción se acompaña necesariamente de una supinación y una ligera extensión. Estos tres componentes caracterizan la posición denominada *inversión*. Si la extensión se anula por una flexión equivalente del tobillo, se obtiene la actitud denominada *varus*. Por última, si una rotación externa de la rodilla compensa la aducción, entonces sólo se puede observar un movimiento aparente de supinación.

En el otro sentido, la abducción se acompaña necesariamente de la pronación y de la flexión, se trata de la posición de la *eversión*. Si la flexión se anula por la extensión equivalente del tobillo, se obtiene la actitud denominada *valgus*. Además, si una rotación interna de la rodilla oculta la abducción, se puede observar un movimiento aparentemente puro de pronación.

De este modo, salvo compensaciones a distancia de las articulaciones del pie, la aducción no se podrá asociar jamás con una pronación, y viceversa, la abducción no se podrá asociar jamás con una supinación. Así, existen combinaciones *prohibidas* por la propia configuración de las articulaciones del pie.

#### 6.9.4. LA EXTENSIÓN DE LOS DEDOS DEL PIE

Las articulaciones metatarsofalángicas y las articulaciones interfalángicas de los dedos de los pies son similares a las de los dedos de las manos, de hecho, las únicas diferencias son de carácter funcional, e implican principalmente a las metatarsofalángicas. Mientras que en el caso de las metacarpofalángicas la flexión supera la extensión, en el caso de las metatarsofalángicas la extensión supera la flexión.

Los movimientos de lateralidad de los dedos del pie en las metatarsofalángicas son de menor amplitud que los de los dedos de la mano. En particular, el dedo gordo del hombre, a diferencia del mono, ha perdido todas las posibilidades de oposición, lo que traduce la adaptación del pie humano a la marcha bípeda en el suelo.

La extensión activa de las articulaciones metatarsofalángicas es de 50-60° en comparación a los 30-40° de la flexión activa.

La extensión activa de los dedos del pie se debe a tres músculos. Dos músculos extrínsecos, el extensor propio del dedo gordo y el extensor común, y un músculo intrínseco, el pedio.

La extensión pasiva, imprescindible en la última fase del paso, alcanza o sobrepasa los  $90^\circ$ , en comparación a los  $45-50^\circ$  de la flexión pasiva.



Extensión pasiva de las articulaciones metatarsofalángicas.

## 6.10. BIOMECÁNICA APLICADA

### 6.10.1. POSTURA DE SEDESTACIÓN

La postura sentada es la posición de trabajo más confortable, ya que ayuda a reducir la fatiga corporal, disminuye el gasto de energía e incrementa la estabilidad y la precisión en las acciones desarrolladas. Sin embargo, esta postura también puede resultar perjudicial para la salud si no se tienen en cuenta los elementos que intervienen en la realización del trabajo, principalmente, la silla y la mesa o el plano de trabajo y si no se dispone de la posibilidad de cambiar de posición de vez en cuando. Las consecuencias de mantener una postura de trabajo sentada inadecuada son: molestias cervicales, abdominales, trastornos en la zona lumbar de la espalda y alteraciones del sistema circulatorio y nervioso que afectan, principalmente, a las piernas. Tanto en actividades del sector servicios como en el industrial muchas personas realizan su trabajo sentadas, por lo que es conveniente considerar los principales requisitos ergonómicos que deben reunir el asiento y el plano de trabajo, con el fin de lograr posturas confortables durante periodos de tiempo más o menos prolongados. Aunque la posición sentado es la forma más cómoda de trabajar, mantener esta postura durante mucho tiempo puede llegar a resultar molesto. Por lo tanto, es aconsejable alternar la postura sentada con la de pie y, a ser posible, andar. Las condiciones básicas para una buena postura de sedestación son:

- La altura del asiento de la silla debe ser regulable, adaptable a las distintas tipologías físicas de las personas. La ideal es la que permite que la persona se siente con los pies planos sobre el suelo y los muslos en posición horizontal con respecto al cuerpo o formando un ángulo entre 90 y 110 grados. La altura correcta del asiento es muy importante, ya que si ésta es excesiva se produce una compresión en la cara inferior de los muslos; si el asiento es demasiado bajo, el área de contacto se reduce exclusivamente al glúteo y las piernas quedan dobladas hacia arriba cerrando el ángulo formado por los muslos y el cuerpo, provocando compresión vascular y nerviosa.
- El respaldo de la silla también debe ser regulable en altura y ángulo de inclinación. La función del respaldo es facilitar soporte a la región lumbar de la espalda, por lo que debe disponer de un almohadillado que ayude a mantener la curvatura de la columna vertebral en esta zona. El respaldo conviene que llegue, como mínimo, hasta la parte media de la espalda, debajo de los omoplatos y no debe ser demasiado ancho en su parte superior para no restar movilidad a los brazos.
- Las sillas deben ser estables, su base de apoyo estará formada por cinco patas con ruedas. Es importante que las sillas puedan girar y desplazarse, de modo que se pueda acceder con facilidad a los elementos cercanos a la mesa de trabajo y se eviten los esfuerzos innecesarios.



- El material de revestimiento del asiento de la silla es recomendable que sea de tejido transpirable y flexible y que tenga un acolchamiento de 20 mm de espesor, como mínimo. El material de la tapicería y el del revestimiento interior tienen que permitir una buena disipación de la humedad y del calor. Así mismo, conviene evitar los materiales deslizantes.
- Los mandos que regulan las dimensiones de la silla se deben poder manipular de forma fácil y segura mientras la persona está sentada en ella.
- Los reposabrazos son recomendables para dar apoyo y descanso a los hombros y a los brazos, aunque su función principal es facilitar los cambios de posturas y las acciones de sentarse y levantarse de la silla.
- El asiento de la silla debe tener una superficie casi plana y el borde delantero redondeado para evitar la compresión en la parte inferior de los muslos.
- Mantener una correcta posición de trabajo que permita que el tronco esté erguido frente al plano de trabajo y lo más cerca posible del mismo, manteniendo un ángulo de codos y de rodillas de alrededor de los 90 grados. La cabeza y el cuello deben estar lo más rectos posible.
- El uso de reposapiés permite el ajuste correcto de silla-mesa cuando la altura de la mesa no es regulable. Se recomienda que tenga una profundidad de 33 cm y una anchura de 45 cm.
- El plano de trabajo debe situarse teniendo en cuenta las características de la tarea y a las medidas antropométricas de las personas. La altura de la superficie de trabajo debe estar relacionada con la altura del asiento, el espesor de la superficie de trabajo y el grosor del muslo.



Silla de oficina

## 6.10.2. PROBLEMAS BIOMECÁNICOS DE LA SEDESTACIÓN

- La ausencia de un reposabrazos carga la cintura escapular, que cuelga de la columna a través de ligamentos y músculos.
- La sedestación sin respaldo conduce a una posición de la columna en forma de C.
- El respaldo debe dejar espacio para las nalgas. Con un respaldo recto que comienza desde el asiento, no se puede dar un apropiado soporte a la parte superior de la pelvis y a la columna lumbar. Un soporte que es demasiado alto no puede proporcionar fuerza en la zona lumbar, y como resultado la columna adoptará forma de C.
- Si el respaldo es demasiado alto (como en la mayoría de las sillas plegables), no da soporte al área lumbar y la espalda se dobla en forma de C.
- Un respaldo vertical, recto y alto también favorece la cifosis lumbar.
- En un asiento resbaladizo y horizontal el trasero se desliza hacia delante y el cuerpo se hunde en la silla debido a que la fuerza de fricción está ausente.
- En un asiento horizontal firme, la fuerza de fricción provoca molestias; la gente evita el respaldo y adoptando malas posturas.
- Cuando nos sentamos sobre un cojín horizontal como en un sillón, el cojín se mueve por el componente horizontal de la fuerza sobre las tuberosidades isquiáticas y se mueve en el espacio.
- La mayor inclinación del respaldo debe asociarse al mismo incremento de la inclinación del asiento. En los aviones, sin embargo, permanecen casi horizontales.
- Las personas de gran volumen quedan oprimidas por los apoyos laterales, que no son útiles en los coches comunes, debido a que en las curvas no se alcanzan más de  $30\text{m/s}^2$  (aceleración centrípeta de  $0,3g$ ). Un respaldo con una curvatura uniforme y moderada se adapta a todo el mundo y proporciona suficiente apoyo lateral.
- Los ancianos no aprecian un asiento bajo o de mucha profundidad.
- La longitud del asiento en una silla para adultos es demasiado grande para niños.
- Las longitudes de los asientos de las butacas o sillones de salón son a menudo muy grandes para los adultos.
- Si el asiento tiene una elevación en una zona dorsal y una radio demasiado grande en la zona anterior, la longitud efectiva del asiento se reduce bastante. Un radio de aproximadamente 30 a 50mm es suficiente.
- Los apoyos laterales pronunciados en los asientos no tienen uso, siendo comunes en los coches. La gente ancha experimenta dolor en los muslos por opresión.
- Un respaldo que es demasiado bajo no puede proporcionar estabilidad al tronco.
- Los reposabrazos son incluso más importantes en las butacas que en las sillas rectas, porque los miembros superiores no se pueden apoyar en la mesa.

- Existen butacas con una forma de C pronunciada.
- Un asiento que es demasiado alto presiona sobre los muslos, lo cual da lugar a las *piernas dormidas*.
- Los asientos deben ser rectos en la dirección anteroposterior. La curvatura en la dirección lateral debería ser moderada. Las formas moldeadas a la anatomía individual deberían ser restringidas a los pacientes con un handicap severo.
- Un reposacabezas que está situado demasiado adelantado dificulta la sedestación erguida.
- La gente alta experimenta dificultades con los reposacabezas que les empujan sobre los hombros.
- Cuando leemos y escribimos en un pupitre horizontal, los adultos y niños siempre muestran flexión de la columna toracolumbar. Esta flexión anterior es independiente de la silla.
- Cuando no es necesario mirar todo el tiempo el teclado, la altura óptima de la pantalla está aproximadamente al nivel de los ojos.

### 6.10.3. EL ASIENTO

#### 6.10.3.1. REPOSABRAZOS

Un reposabrazos descarga la cintura escapular, que es una construcción móvil suspendida de la columna por medio de ligamentos y músculos. El peso de los miembros superiores es alrededor del 10% del peso corporal. En los coches los reposabrazos, si hay, suelen estar demasiado bajos, de tal manera que los conductores tienden a girarse hacia el lado de la puerta y apoyar su extremidad superior en el borde de la ventanilla. El otro brazo, cuando no está sujetando el volante, queda reposado en los muslos o en el respaldo del asiento del copiloto. Debido al peso de los brazos el volante se mantiene por la parte inferior. Un reposabrazos apropiado debe situarse por debajo de los centros de masas del brazo y antebrazo. Un apoyo en la muñeca es por tanto inútil. En el asiento del piloto el reposabrazos se ajusta en altura pero girando alrededor del eje ajustado al respaldo. Esta construcción es un error lógico, porque en una posición elevada el reposabrazos sólo mantiene la muñeca y dejaría en el aire el codo de un piloto alto.

#### 6.10.3.2. RESPALDO

El respaldo proporciona estabilidad a un tronco verticalmente erguido. Sin embargo, en una sedestación prolongada, la prevención de la cifosis lumbar parece ser la función más importante de un respaldo. La traslación lenta del tronco hacia delante incrementa la lordosis lumbar, mientras que una traslación lenta hacia atrás mueve el centro de gravedad por encima de las tuberosidades isquiáticas hacia una posición inestable. Una mayor traslación provoca una retroversión de la pelvis y una cifosis lumbar. De ahí la importancia de un soporte lumbar. La función de un soporte lumbar es ejercer una fuerza

firme en la zona alta de la pelvis y la zona lumbar para prevenir la basculación de la columna hacia la cifosis. Este apoyo no deberá estar más alto que el borde inferior de las escápulas. La columna torácica es bastante rígida (costillas) y un respaldo alto empuja las escápulas hacia delante, lo que anula la acción del soporte lumbar e impide estirar los hombros y girar hacia la derecha o la izquierda.

#### 6.10.3.3. ASIENTO

El peso del tronco, la cabeza y (parte de) las extremidades superiores está casi completamente soportado por las tuberosidades isquiáticas. Un asiento horizontal aumenta la fricción sobre las tuberosidades isquiáticas, esta fricción puede ser eliminada completamente mediante un ángulo moderado del asiento con respecto al suelo.

El ángulo entre el asiento y el respaldo es óptimo entre 90 y 95°. Con un mayor ángulo entre el asiento y el respaldo, el respaldo ayuda a soportar el peso del tronco y facilita la mirada horizontal.

#### 6.10.3.4. REPOSACABEZAS

El reposacabezas no puede cargar la cabeza cuando está situado demasiado adelantado. El reposacabezas sólo puede ofrecer soporte cuando el centro de gravedad de la cabeza está posterior al eje de la articulación occipitoatloidea.

### 6.10.4. LESIONES Y DOLENCIAS DEL CONDUCTOR *PROFESIONAL*

Conducir un taxi, un camión, un autobús o una furgoneta implica un mayor riesgo de quedarse sordo del oído izquierdo, padecer una enfermedad cardiovascular o sufrir de alcoholismo. En el caso de la sordera, el porcentaje se eleva espectacularmente. Estos datos figuran entre las conclusiones del macroinforme encargado por el Ministerio de Fomento Español sobre la patología de los conductores profesionales. Los resultados muestran que no existe una enfermedad específica de los que viven del volante, pero los incrementos en determinadas patologías sí son concluyentes.

Según este estudio, la conducción es una actividad laboral que produce una amplia gama de enfermedades profesionales en mayor número por el tipo de trabajo y por la falta generalizada de prevención. Por otra parte, a pesar de que el estudio sobre patologías excluye a los trabajadores autónomos (que son los que realizan su trabajo en peores condiciones) se detectan incrementos significativos sobre la población normal (no conductores) en las siguientes enfermedades:

- Hipertensión: +25%
- Varices: +43%
- Alteraciones cardiológicas: +150%
- Neumologías: +50%

- Úlceras estomacales: +25%
- Alcoholismo: +125%
- Sedentarismo: +24%
- Sordera media: +250%
- Problemas de sueño: +50%

La sordera afecta casi siempre al oído izquierdo, debido a la costumbre de conducir con la ventanilla abierta. Las afecciones asociadas a la columna, extremidades y próstata también registran un porcentaje de casos muy superior en el gremio de conductores con relación a la media de la población.

Gracias a este estudio se sabe por primera vez que el número de conductores profesionales que hay en España es de 895.000; 184.000 conducen camiones, 607.000 furgonetas o vehículos ligeros para mercancías; 34.000 autobuses y 70.000 son taxistas o chóferes de vehículos para menos de nueve viajeros.



## 7. SENSACIÓN Y PERCEPCIÓN

### 7.1. INTRODUCCIÓN A LA PERCEPCIÓN

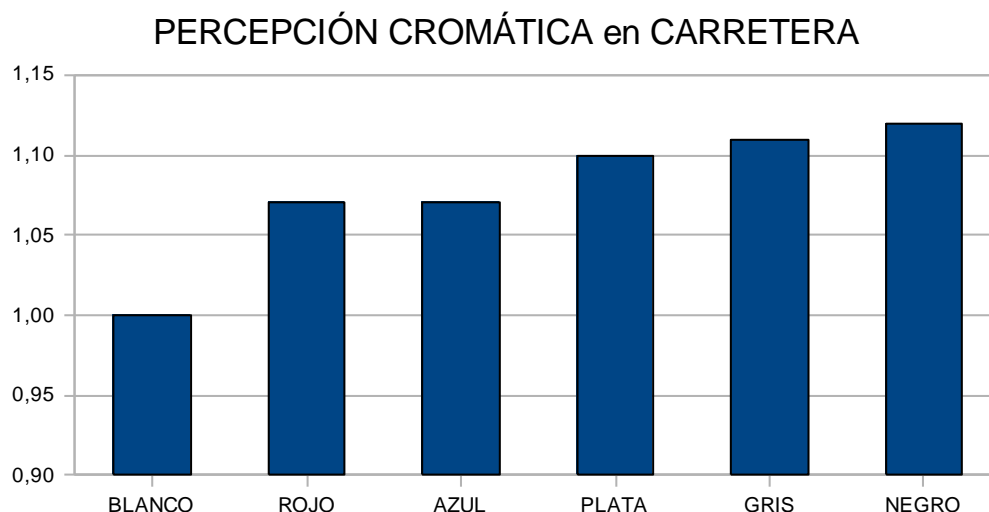
#### 7.1.1. LA IMPORTANCIA DE LA PERCEPCIÓN

Uno de los objetivos de la percepción consiste en informarnos sobre las propiedades del entorno. En cualquier situación hay que ser capaces de ver lo que hay fuera y de oír lo que está ocurriendo. Otro de los objetivos consiste en ayudar a actuar en relación con el entorno.

Comprender la percepción es importante para entender los requisitos perceptivos que se deben superar cuando se realizan tareas tales como conducir un coche.

Un claro ejemplo de la importancia de la percepción en la actividad de conducir lo demuestra un estudio realizado por un grupo de investigadores de la Universidad de Monash, en Melbourne (Australia), según este estudio los coches oscuros tienen más accidentes que los claros, debido a que cuanto más claro es el automóvil más visible es para los demás en la carretera.

Tras estudiar 850.000 accidentes con víctimas, el equipo de investigadores concluyó que los coches blancos son los más seguros, pues resultan más visibles y presentan menos probabilidades de colisión. Del mismo modo, los automóviles de color negro son los más peligrosos, seguidos de los grises, los plata y los rojos y azules. Los colores pastel, como el beige o el color crema obtuvieron valoraciones muy cercanas al color blanco.

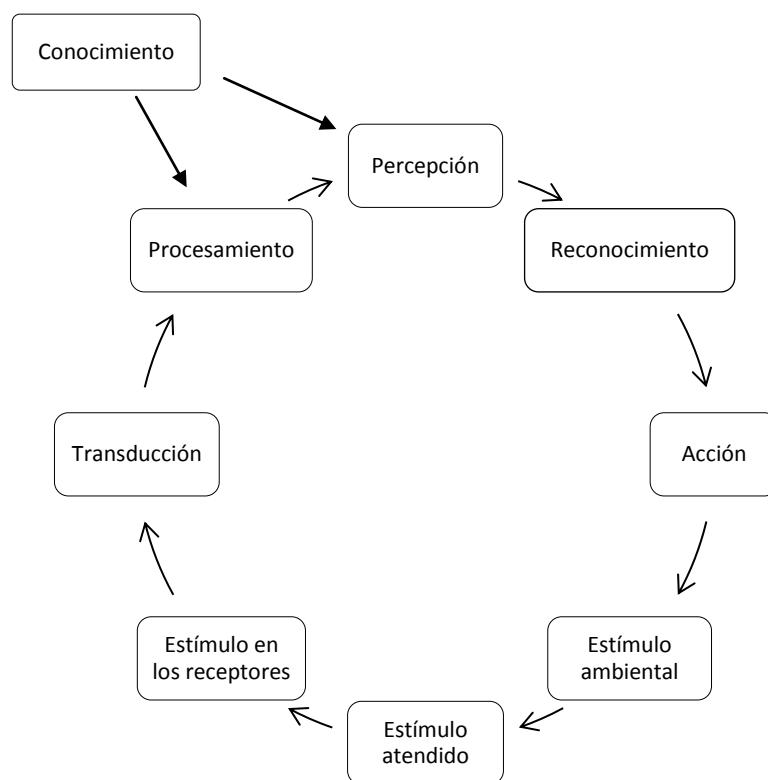


Para resaltar aún más la importancia de la percepción, el director de la investigación, Stuart Newstead señaló que esta relación entre el color del coche y el riesgo de colisión se reduce cuando hay poca luz, pues la baja luminosidad hace menos perceptible la diferencia cromática.

### 7.1.2. EL PROCESO PERCEPTIVO

Para describir el funcionamiento de la percepción, se analizará el proceso perceptivo como una secuencia de fases, que incluyen la estimulación que llega del entorno (estimulación ambiental), la percepción de un estímulo concreto, su reconocimiento y, finalmente, la acción tomada respecto al estímulo.

El proceso perceptivo es dinámico y se encuentra en continuo cambio.



Las diversas fases del proceso perceptivo se disponen en un círculo para enfatizar que se trata de un proceso dinámico y se encuentra en continuo cambio.

Se analizará cada uno de los pasos de la figura anterior, empezando por el estímulo ambiental.

- Estímulo ambiental: Está formado por todos los aspectos del entorno que potencialmente se pueden percibir.
- Estímulo atendido: Es aquello, de todo lo que podemos percibir, en lo que realmente nos fijamos.
- Estímulo de los receptores: Se forma la imagen percibida sobre los receptores de la retina, ésta es una superficie de 0,4mm de espesor formada por los receptores



sensibles a la luz (y por otras neuronas) que cubre el fondo del ojo. El patrón de luz que incide en la retina se transforma en señales eléctricas en los receptores.

- Transducción: Transformación de una forma de energía en otra. En el sistema nervioso la transducción ocurre cuando la energía ambiental se transforma en energía eléctrica.
- Procesamiento neuronal: Las señales eléctricas generan señales nuevas en las neuronas, las cuales crean una serie de vías interconectadas. Las señales eléctricas se transmiten por dichas vías, primero del ojo al cerebro, y a continuación dentro del propio cerebro. El proceso neuronal es el conjunto de operaciones que transforman las señales eléctricas de las neuronas.
- Percepción: Es la experiencia sensorial consciente. Se produce cuando las señales eléctricas se transforman en el cerebro para dar lugar a la experiencia de haber visto.
- Reconocimiento: Capacidad para incluir los objetos en categorías concretas que les confieren un significado.
- Acción: Incluye actividades motrices. Surge como respuesta o reacción a todo lo anterior. El proceso se representa en círculo porque va evolucionando, cuando nosotros reaccionamos al estímulo ambiental, también evoluciona dinámicamente, dando lugar a una nueva vuelta del proceso.
- Conocimiento: Es el almacenamiento previo que hay en nuestra memoria.

El procesamiento de información que comienza con la información recibida por los receptores tiene el nombre de *procesamiento abajo-arriba*. Por su parte, el procesamiento que comienza teniendo en cuenta el efecto del conocimiento que una persona incluye en la situación de la percepción recibe el nombre de *procesamiento arriba-abajo*. Ambos tipos de procesamiento funcionan juntos en la percepción y el reconocimiento.

### 7.1.3. ESTUDIO DEL PROCESO PERCEPTIVO

Para comprender los mecanismos responsables de la percepción se debe decidir el nivel de análisis. Este concepto se utiliza en el sentido de que los procesos pueden observarse con diferentes escalas. En el caso de la percepción se estudiarán dos niveles de análisis distintos.

- Nivel psicofísico del análisis: Forma en que la percepción de una persona está relacionada con el estímulo del entorno. Se concentra en la relación entre estímulo y percepción.
- Nivel fisiológico del análisis: Forma en la que la percepción de una persona está relacionada con los procesos fisiológicos que se están produciendo en ella. Se concentra en la relación existente entre el estímulo y la fisiología.

Al estudiar la percepción en los niveles psicofísico y fisiológico, hay que tener en cuenta la

forma en que el conocimiento, los recuerdos y las expectativas que una persona aporta, influyen en la percepción. Estos conocimientos, recuerdos y expectativas que aportan las personas se suelen denominar como *influencias cognitivas sobre la percepción*.

Los métodos psicofísicos permiten estudiar la percepción en el nivel psicofísico.

- Método fenomenológico: Una persona describe lo que percibe.
- Reconocimiento: Un estímulo se incluye en una categoría concreta cuando el observador le da un nombre.
- Detección: Medición de los umbrales utilizando uno de los métodos psicofísicos clásicos, a saber, el de los límites, el de ajuste o el de los estímulos constantes.
- Estimulación de magnitudes: Asignación de números a los estímulos para determinar la magnitud percibida en lo que se refiere a cualidades tales como el brillo o el volumen.
- Exploración y medición del tiempo de reacción para encontrar o discernir un estímulo entre otros muchos.

Los umbrales de percepción, que por lo general se miden mediante uno de los métodos psicofísicos, son muy importantes, pues especifican las propiedades básicas de los sistemas perceptivos. El umbral absoluto es la cantidad mínima de energía que se necesita para detectar un estímulo. Y el umbral diferencial es la menor diferencia que puede apreciarse entre dos estímulos. Según la Ley de Weber, el umbral diferencial dividido entre la intensidad del estímulo modelo, da un resultado constante.

$$k = \text{DAP} / E$$

- $k$ =constante
- $E$ =valor del estímulo
- DAP=menor diferencia percibida

La medición de la relación entre la intensidad del estímulo y la magnitud percibida produce funciones potenciales para todos los sentidos. La magnitud de algunas cualidades, como el brillo, aumenta lentamente cuando aumenta la intensidad física (compresión de la respuesta). Frente a esto, en otras cualidades, como sucede en el caso del dolor, el aumento es muy rápido (expansión de la respuesta).

La aproximación fisiológica a la percepción se centra en la relación entre el estímulo y las señales eléctricas del sistema nervioso y, también, entre éstas y la percepción.

El sistema nervioso está compuesto por unidades básicas denominadas neuronas, que constan de diversas partes. Entre ellas se incluye el axón, que es una especie de tubo lleno de líquido que conduce señales eléctricas. Los axones de muchas neuronas próximas forman un nervio.

Las señales eléctricas en las neuronas se producen cuando unas moléculas cargadas, denominadas iones, fluyen a través de la membrana celular. Al registrar estos potenciales con microelectrodos se obtiene el potencial en reposo, que es la diferencia entre la carga interior y exterior de la fibra en reposo, y el potencial de acción, que constituye un rápido aumento en la carga positiva que, una vez activado, recorre todo el axón sin disminuir su tamaño.

El potencial de acción de una neurona concreta tiene siempre el mismo tamaño, pero la frecuencia de activación puede aumentar en respuesta a un aumento del estímulo. La actividad espontánea es la activación de las neuronas en ausencia de un estímulo externo.

La sinapsis es un pequeño espacio entre el extremo de la neurona emisora y el cuerpo celular de la neurona receptora. Las señales son capaces de puentear este espacio gracias a la acción de neurotransmisores, que pueden tener un efecto excitatorio o inhibitorio en la neurona receptora. La interacción entre excitación e inhibición es un mecanismo muy importante en el procesamiento de información por parte del sistema nervioso.

Buena parte de los estudios que existen en torno a las conexiones entre la actividad cerebral y la percepción se concentra en el cortex cerebral, una capa de neuronas que cubre el cerebro y contiene los mecanismos básicos de la percepción y otros procesos superiores, como la memoria o el pensamiento. El cerebro contiene diferentes lóbulos y zonas que reciben información de diferentes sentidos. La relación existente entre la actividad de las diferentes áreas del cerebro y la percepción se ha estudiado en humanos mediante el uso de técnicas de neuroimagen, como es la PET o la fMRI.

## 7.2. RECEPTORES Y PROCESAMIENTO NEURONAL

La percepción del entorno no sólo depende de las propiedades de los objetos del mismo, sino de las propiedades de nuestro sistema nervioso. Así pues, se percibe lo que está a nuestro alrededor, pero filtrado por las propiedades de nuestros sistemas perceptivos; visual, auditivo, olfativo...

La luz visible, o lo que es lo mismo, la estrecha banda de energía electromagnética que podemos ver, es el estímulo del sentido de la vista.

Las tres partes principales del sistema visual son el ojo, el núcleo geniculado lateral del tálamo y el área receptora del cortex visual occipital. También hay áreas corticales fuera del área receptora visual, llamadas cortex estriado, que son responsables del procesamiento de nivel superior.

El proceso visual comienza cuando la luz reflejada de los objetos se introduce en el ojo y es enfocada por la córnea y el cristalino para formar una imagen nítida en la retina. El proceso de acomodación en el que el cristalino cambia de forma, permite que el ojo ajuste su foco a diferentes distancias.

Hay dos tipos de receptores visuales, los conos y los bastones, y cada uno tiene propiedades distintas. En primer lugar se distribuyen de forma distinta en la retina; incluso hay una pequeña área llamada fovea que sólo contiene conos. Los conos controlan la visión cuando la iluminación es buena, y los bastones lo hacen cuando las condiciones de iluminación no son tan buenas. Los conos se encargan de captar los detalles más finos, así como de extraer la información que nos permite ver los colores. Sin embargo los bastones no tienen la capacidad de apreciar los detalles o los colores. Cuando miramos directamente un objeto, su imagen se proyecta en la fovea. El lugar en el que el nervio óptico abandona el ojo está desprovisto de receptores y, por tanto, recibe el nombre de punto ciego.

La transducción se da cuando una molécula de pigmento visual de un receptor absorbe luz, se isomeriza y comienza una reacción en cadena que provoca la activación del receptor. Los experimentos fisiológicos han demostrado que un bastón puede activarse por la isomerización de una sola molécula, así como que la activación de siete bastones puede dar lugar a la percepción.

Los pigmentos visuales intervienen activamente en la percepción. Los experimentos de adaptación a la oscuridad indican que la sensibilidad de una persona aumenta en dos fases: una rápida, controlada por los conos, y una más lenta, controlada por los bastones. La diferencia en la velocidad de adaptación de conos y bastones se debe en gran medida a la diferencia que existe en cuanto a la velocidad a la que se regeneran sus respectivos

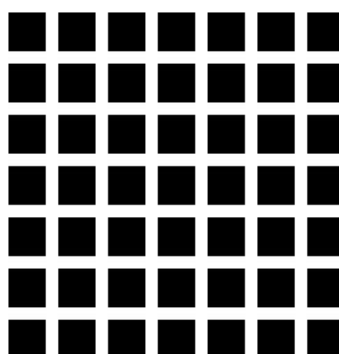
pigmentos. Además, bastones y conos también difieren en cuanto a su sensibilidad espectral, que es la sensibilidad a la luz de diferentes longitudes de onda del espectro visible, lo que al final se traduce en una diferencia en las propiedades de absorción por parte de estos pigmentos visuales.

El procesamiento neuronal mediante convergencia se produce cuando una serie de neuronas crean sinapsis en una sola neurona. Por lo general los bastones convergen mucho más que los conos, y esta diferencia en convergencia tiene consecuencias en la percepción. La alta convergencia de los bastones produce mayor sumación espacial y, por ello, la visión mediante los bastones permite una mayor sensibilidad que la mediada por los conos. La reducida convergencia de estos últimos es parcialmente responsable de que permitan mayor agudeza espacial que los bastones.

El procesamiento neuronal se consigue mediante excitación e inhibición. Los circuitos neuronales se forman mediante diversas neuronas interconectadas. Al combinar convergencia, excitación e inhibición, los circuitos pueden procesar información de modo que ciertas neuronas presenten una respuesta óptima a propiedades concretas de un estímulo, como puede ser una línea de una longitud específica.

El campo receptivo de una neurona del sistema visual es el área de la retina que, cuando se estimula, afecta a la frecuencia de activación de dicha neurona. Las células ganglionares tienen campos receptivos centro-periferia, lo que provoca una respuesta excitatoria cuando se estimula el centro y una respuesta inhibitoria cuando se estimula la periferia. En otras células, el centro puede ser inhibitorio y la periferia, excitatoria.

La inhibición lateral, o el envío de señales inhibitorias a través de la retina, se estudió en experimentos clásicos con la especie *Limulus*. Estos experimentos demostraron que la estimulación de los receptores en un lugar de la retina podía afectar a las respuestas de las neuronas de otro lugar de la retina. La inhibición lateral puede explicar efectos perceptivos, tales como el escurecimiento que se produce en las intersecciones de la Rejilla de Hermann y las bandas ilusorias de Mach que surgen en los bordes entre áreas claras y oscuras.



Rejilla de Hermann



No obstante, la inhibición lateral no puede explicar algunos fenómenos de la percepción, como es el contraste simultáneo, que implica la percepción de la luz y la oscuridad. Estas propiedades implican un procesamiento de orden superior.

La percepción del entorno se consigue de manera indirecta, pues aunque se tenga la sensación de estar en contacto directo con el entorno, esta sensación es tan sólo ilusoria, pues todo lo que se percibe está determinado indirectamente, a través de la transformación de estímulos ambientales en señales eléctricas y de la transformación de estas señales en experiencia consciente.

### 7.3. EL NÚCLEO GENICULADO LATERAL Y EL CORTEX ESTRIADO

El núcleo geniculado lateral (NGL) del tálamo es el primer lugar al que llega la mayor parte de las señales del nervio óptico después de abandonar el ojo. Las neuronas del NGL tienen campos receptivos centro-periferia similares a los de las células ganglionares. El NGL recibe información de muchas fuentes, incluido el cortex. Además, al parecer también se encarga de regular el flujo de información entre la retina y el cortex.

La información de los ojos izquierdo y derecho se mantiene separada en el NGL, en las capas 2, 3 y 5 se mantiene la información del ojo izquierdo y en las 1, 4 y 6 las del ojo derecho. También se organiza como mapa retinotópico, de manera que cada ubicación del NGL corresponde a una ubicación en la retina, y ubicaciones adyacentes del NGL corresponden a ubicaciones adyacentes en la retina. El NGL también se organiza por los tipos de células ganglionares que llegan de la retina; las células M llegan a las capas 4, 5 y 6 y las células P a las capas 1 y 2.

Con respecto a los campos receptivos de las neuronas del cortex estriado, Hubel y Wiesel realizaron diversos experimentos clásicos en los que identificaron tres tipos de neuronas: células corticales simples, que responden mejor a líneas con orientaciones concretas; células corticales complejas, que responden mejor a líneas bien orientadas que se muevan en una dirección específica; y células hipercomplejas, que responden mejor a líneas orientadas de una longitud determinada que se mueven en una dirección concreta. Como estas neuronas responden a características específicas de los estímulos, reciben el nombre de detectores de características.

La adaptación selectiva a la orientación es una técnica psicofísica utilizada para demostrar las conexiones existentes entre la actividad neuronal y la percepción. La base de esta técnica es que la exposición prolongada a una propiedad concreta de un estímulo, como puede ser la orientación, reduce la actividad de las neuronas que responden a dicha propiedad, lo que a su vez se traduce en una disminución de la sensibilidad a esta propiedad cuando se mide con métodos psicofísicos. Los experimentos en que los observadores se adaptan a enrejados con una orientación concreta demuestran que los propios detectores de orientación también intervienen en la percepción.

El efecto oblicuo se refiere a la observación de que las personas tienden a ser más sensibles a las orientaciones verticales u horizontales. Los estudios de fMRI recientes demuestran que existe un alto grado de coincidencia entre este efecto medido con métodos psicofísicos y la respuesta de las neuronas del área V1.

La frecuencia espacial de las neuronas se refiere a la rapidez con la que un estímulo cambia a través del espacio. Las frecuencias espaciales altas corresponden a los detalles pequeños del entorno, mientras que las frecuencias espaciales bajas corresponden a

formas más generales. La frecuencia espacial se mide en ciclos por grado de ángulo visual. Una técnica matemática llamada análisis de Fourier ha permitido analizar las frecuencias espaciales contenidas en las escenas ambientales. Los estudios electrofisiológicos indican que algunas neuronas del cortex estriado responden mejor a intervalos específicos de frecuencia espacial.

Los experimentos psicofísicos de adaptación selectiva indican que la adaptación a una frecuencia espacial concreta produce una disminución de la sensibilidad a bandas pertenecientes a un intervalo estrecho de frecuencias especiales. Esto ofrece pruebas de la existencia de canales de frecuencia espacial en el sistema visual. Además, indica que la función de sensibilidad al contraste, que es un gráfico que compara la sensibilidad al contraste con la frecuencia espacial, puede representar la suma de varios de estos canales.

El cortex estriado se encuentra organizado de varias formas. Así, hay un mapa retinotópico en el cortex. Este mapa indica que las señales que llegan hasta el cortex desde la fóvea ocupan un área cortical mucho mayor de lo que cabría esperar teniendo en cuenta el reducido tamaño de la fóvea en comparación con la retina. Este fenómeno recibe el nombre de factor de magnificación cortical.

El cortex se encuentra organizado en columnas de localización. Todas las neuronas que se encuentran en una columna perpendicular a la superficie de cortical tienen campos receptivos en aproximadamente el mismo lugar de la retina. El cortex estriado también está organizado en columnas de orientación, todas las neuronas de cada una de estas columnas están sintonizadas a la misma orientación. También hay columnas de dominancia ocular, todas las neuronas de estas columnas responden a la estimulación de uno solo de los ojos. Por último, puede suponerse que todas estas columnas están organizadas en hipercolumnas, que forman un módulo que procesa la información de las imágenes que se crean en un punto concreto de la retina.

Un objeto que tiene una imagen en la retina suficientemente grande para estimular varias columnas de localización distintas se representará en el cortex mediante la activación de las neuronas de diversas hipercolumnas que estén sintonizadas a la orientación del objeto. Así, un objeto simple, como puede ser el tronco de un árbol, puede representarse mediante la activación de diversas áreas separadas del cortex estriado.

La plasticidad se refiere al hecho de que nuestra experiencia, con estímulos concretos, puede moldear o modificar el funcionamiento del sistema visual. Los experimentos de crianza selectiva realizados con gatos que crecen en entornos que constan de una única orientación apoyan esta idea, puesto que en el cortex de estos gatos dominan las neuronas sintonizadas a la orientación a la que se han visto expuestos los animales. También hay pruebas de que se producen efectos similares en el cerebro de las personas





que han padecido un trastorno denominado astigmatismo, que hace que algunas orientaciones se vean borrosas.

Los mapas y las columnas que se observan en el sistema visual también pueden encontrarse en otros sentidos. Existen mapas somatotópicos del cuerpo en el cortex somatosensorial, que sirve para el sentido del tacto, y mapas tonotópicos de las frecuencias sonoras en el cortex auditivo. También hay pruebas de que las neuronas de los sistemas somatosensorial y auditivo están organizadas en columnas.

## 7.4. LA PERCEPCIÓN DE LOS OBJETOS

### 7.4.1. EL ENFOQUE DE LA GESTALT Y LA ORGANIZACIÓN PERCEPTIVA

Uno de los primeros enfoques para estudiar la percepción, denominado estructuralismo, asumía que la percepción está determinada por la adición de minúsculos elementos o componentes denominados sensaciones. Basándose inicialmente en las observaciones del movimiento aparente, Wertheimer puso en cuestión este enfoque y demostró que el todo es diferente a la suma de las partes. Fue el comienzo de la psicología de la Gestalt.

La psicología de la Gestalt es una corriente de la psicología moderna, surgida en Alemania a principios del siglo XX, y cuyos exponentes más reconocidos han sido los teóricos Max Wertheimer, Wolfgang Köhler, Kurt Koffka y Kurt Lewin.

El término *Gestalt* proviene del alemán y fue introducido por primera vez por Christian von Ehrenfels. No tiene una traducción única, aunque se entiende generalmente como *forma*; sin embargo, también podría traducirse como *figura*, *configuración*, *estructura* o *creación*.

La mente configura, a través de ciertas leyes, los elementos que llegan a ella a través de los canales sensoriales o de la memoria.

### 7.4.2. LAS LEYES DE LA ORGANIZACIÓN PERCEPTIVA DE LA GESTALT

Las leyes de la organización perceptiva constituyen una serie de reglas que especifican la forma en la que organizamos los estímulos pequeños para crear un todo. Las seis leyes más importantes son:

- Ley de la pregnancia: Ley fundamental de la psicología de la Gestalt, establece que todo patrón estimular tiende a percibirse con la forma resultante más simple de todas.
- Ley de la semejanza: Los estímulos que son semejantes tienden a percibirse agrupados. Agrupación debida a la forma, luminosidad, matiz, tamaño y orientación.
- Ley de la continuidad: Los estímulos que, cuando están conectados, dan lugar a líneas rectas o ligeramente curvadas, se consideran como pertenecientes al mismo objeto. Las líneas tienden a verse del modo que sigan la trayectoria más suave.
- Ley de la proximidad: Se agrupan los estímulos que están menos distantes entre sí.
- Ley de la dirección común: Los estímulos que se mueven en la misma dirección parecen pertenecer al mismo objeto.
- Ley de la significación: Un conjunto de estímulos se percibirá como un grupo u objeto si dicho objeto parece familiar o significativo.

Como las leyes de la Gestalt no permiten hacer predicciones suficientemente sólidas como

para calificarlas como leyes, con frecuencia se las denomina *principios*. Los principios de la Gestalt son heurísticos que ofrecen reglas de la *mejor predicción*, que funcionan en la mayor parte de los casos, pero no siempre. Esta propiedad de los principios de la Gestalt les permite funcionar rápidamente. Los principios pueden estar determinados por la evolución, por el aprendizaje o por una combinación de ambos. No obstante, aún estando determinados, reflejan regularidades del entorno.

Los psicólogos modernos han propuesto principios adicionales de organización que incluyen:

- Principio de la región común: Los elementos que están dentro de la misma región del espacio se perciben agrupados.
- Principio de la conexión entre elementos: Los estímulos que están físicamente conectados se perciben como unidad.
- Principio de la sincronía: Los estímulos visuales que ocurren al mismo tiempo se percibirán como pertenecientes a una misma unidad.

Los resultados de los experimentos con la llamada tarea de la discriminación entre repeticiones para medir la fuerza del agrupamiento indican que el agrupamiento perceptivo no sólo determina el aspecto de una imagen, sino también el modo en el que podemos extraer información de la misma.

#### 7.4.3. SEGREGACIÓN PERCEPTIVA DE LA GESTALT

La segregación perceptiva es la capacidad de separar objetos entre sí. Los psicólogos de la Gestalt estudiaron la segregación perceptiva determinando los factores estimulares que son responsables de la segregación figura-fondo, es decir, el modo en que un área se convierte en figura y otra en fondo. Entre los factores que identificaron los psicólogos de la Gestalt como asociados a las figuras cabe citar:

- La simetría: Las áreas simétricas tienden a verse como figuras.
- El área pequeña: Los estímulos con áreas, comparativamente más pequeñas, tienden a verse como figuras.
- La orientación: Las orientaciones verticales y horizontales son más fáciles de ver que el resto.
- La significación: Los objetos significativos, o familiares, tienen más posibilidades de verse como figuras.

Algunas propiedades de la figura y el fondo son:

- La figura tiene *más forma de objeto* y puede almacenarse en la memoria mejor que el fondo.
- La figura se ve delante del fondo.
- El fondo se ve como un material sin forma que tiende a extenderse detrás de la

figura.

- El contorno que separa la figura del fondo, parece pertenecer a la figura.

Los estudios modernos en torno a la segregación figura-fondo proponen que la razón de que no se vean dos áreas adyacentes como figura al mismo tiempo es que es altamente improbable que dos objetos tengan contornos idénticos que puedan alinearse perfectamente. Esta idea sugiere que la percepción refleja las regularidades del entorno. Otras investigaciones han aportado pruebas de que el reconocimiento del significado de un área podría producirse antes de la segregación figura-fondo.

#### 7.4.4. OTROS ENFOQUES PARA EXPLICAR LA PERCEPCIÓN DE LOS OBJETOS

Enfoque Computacional: David Marr propuso un enfoque computacional para explicar la percepción de los objetos, que consiste en considerar el sistema visual como si estuviera programado para analizar las características del estímulo. Para ello definió un conjunto de características que reciben el nombre de esbozo primitivo, que tiene en cuenta el patrón de luz y oscuridad del estímulo y las restricciones naturales del entorno. Tras el esbozo primitivo, el sistema visual define el esbozo en 2-1/2D y, por último, la representación tridimensional que se ve.

Enfoque de la Teoría de la Integración de Características (TIC): Anne Treisman propuso la teoría de la integración de características, que afirma que la primera etapa de la percepción de los objetos es una etapa preatencional, en la que el sistema visual descompone un estímulo en características individuales. La siguiente etapa es la etapa de atención focalizada, en la que las características se combinan a través de un proceso que concentra la atención en localizaciones concretas. Las características de la TIC se han determinado utilizando los métodos de los límites emergentes y búsqueda visual. Los límites emergentes se producen si diferentes áreas contienen características distintas. En el procedimiento de búsqueda visual, se determinan los tiempos de reacción que se necesitan para identificar los diferentes estímulos. Cuando el estímulo resalta, lo que indica la presencia de una característica especial, el tiempo de reacción no aumenta cuando se aumenta el número de distracciones. El hecho de que hay características que existen de modo independiente en la etapa preatencional se demuestra por la presencia de las llamadas conjunciones ilusorias. Por otra parte, la necesidad de atención para que se produzca la percepción ha quedado patente en los experimentos de búsqueda visual que demuestran que el observador no puede determinar la localización de un estímulo si no utiliza la atención para encontrarlo.

Enfoque del Reconocimiento Por Componentes (RPC): Irving Biederman propuso la teoría del RPC, que se basa en la idea de que los objetos se construyen perceptivamente a partir de primitivos volumétricos que reciben el nombre de geones. Estos geones tienen las propiedades de invariancia a la vista, discriminabilidad y resistencia al ruido visual. El

principio del reconocimiento por componentes establece que podemos identificar un objeto si somos capaces de identificar sus geones.

Detectores de características neuronales: David H. Hubel y Torsten Wiesel descubrieron las características del procesamiento de la información visual. Estudiando su desarrollo en gatos pequeños, detectaron la capacidad de las neuronas corticales para reorganizarse ante situaciones de privación sensorial y determinaron que la reorganización de las neuronas corticales ocurre sólo en periodos determinados.

Cuadro resumen de los enfoques que explican la percepción de los objetos:

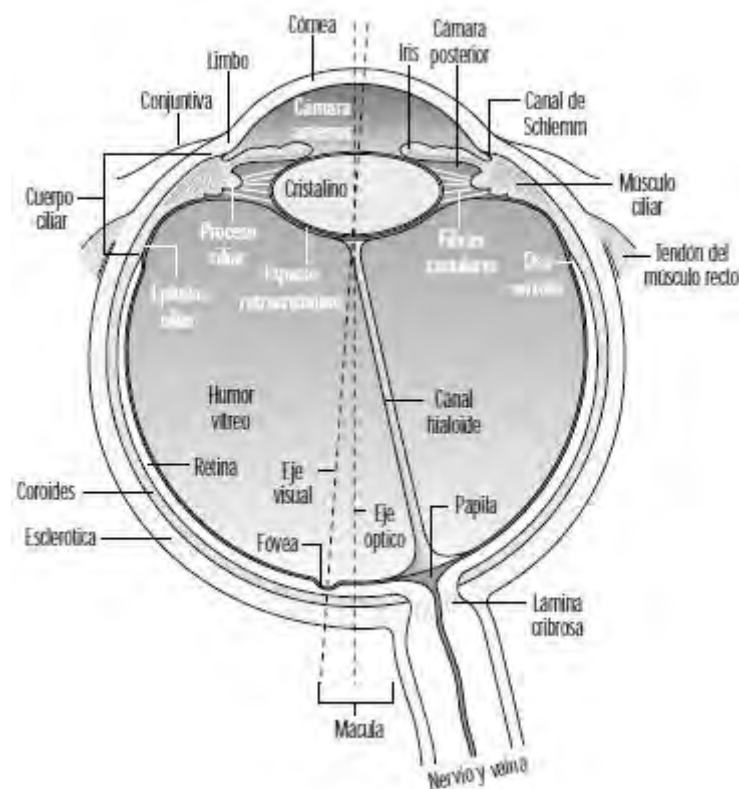
ENFOQUE	REPRESENTANTES PRINCIPALES	PREOCUPACIÓN PRINCIPAL	PRINCIPIOS BÁSICOS
Gestalt	Max Wertheimer	Organización perceptiva. Segregación figura-fondo.	Leyes de la organización. Todo y partes. Figura-fondo.
Computacional	David Marr	Percepción de los objetos en el entorno del mundo real.	Características básicas. Observar las restricciones naturales del entorno. Esbozo primitivo. Esbozo en 2-1/2D.
TIC	Anne Treisman	Extracción temprana de características y procesamiento.	Características básicas. Procesamiento preatencional. Etapa de atención focalizada.
RPC	Irving Biederman	Reconocimiento de objetos 3D.	Geones. Propiedades invariantes. Principio del reconocimiento por componentes.
Detectores de características neuronales.	David Hubel Torsten Wiesel	Fisiología de la percepción de los objetos.	Detectores de características. Organización en columnas. Codificación distribuida. Especificidad neuronal. Ajuste neuronal determinado por la experiencia. Modulación contextual de neuronas V1.

## 7.5. PERCEPCIÓN A TRAVÉS DE LA VISIÓN

### 7.5.1. LA VISIÓN

#### 7.5.1.1. ANATOMÍA DEL OJO

El ojo es una esfera de unos 20 mm de diámetro, situada en la órbita y rodeada de seis músculos oculares extrínsecos que lo mueven unido a la esclerótica, su pared externa. En la parte anterior, la esclerótica es sustituida por la córnea, que es transparente. Por detrás de la córnea, en la cámara anterior, se encuentra el iris, que regula el diámetro de la pupila, el espacio por el que pasa el eje óptico. La parte posterior de la cámara anterior está formada por una lente biconvexa, el cristalino; la curvatura de esta lente está determinada por los músculos ciliares, unidos por delante a la esclerótica y por detrás a la membrana corioidea, que recubre la cámara posterior. La cámara posterior está llena del humor vítreo, un líquido gelatinoso transparente. La coroides, o superficie interna de la cámara posterior, es de color negro para evitar que los reflejos luminosos internos interfieran con la agudeza visual.



Representación esquemática del ojo

Los párpados ayudan a mantener una película de lágrimas, producidas por las glándulas lagrimales, para proteger la superficie anterior del ojo. El parpadeo facilita la diseminación de las lágrimas y su drenaje hacia el canal lagrimal, un conducto que desemboca en la cavidad nasal. La frecuencia de parpadeo, que se utiliza como prueba en ergonomía, varía

en gran medida según la actividad realizada y las condiciones de iluminación, por ejemplo, es más lenta durante la lectura y la velocidad de parpadeo disminuye al aumentar la iluminación.

La cámara anterior contiene dos músculos: el esfínter del iris, que contrae la pupila, y el dilatador, que la ensancha. Cuando se dirige una luz brillante hacia un ojo normal, la pupila se contrae (reflejo pupilar). También se contrae cuando se observa un objeto cercano.

La retina tiene varias capas internas de células nerviosas y una capa externa que contiene dos tipos de células fotorreceptoras, los conos y los bastones. Así, la luz pasa a través de las células nerviosas hasta los conos y los bastones donde, genera impulsos en las células nerviosas que pasan por el nervio óptico hasta el cerebro. Los conos, cuyo número oscila entre cuatro y cinco millones, son responsables de la percepción de imágenes brillantes y del color. Se concentran en la porción interna de la retina, con mayor densidad en la fovea, una pequeña depresión situada en el centro de la retina, en la que no hay bastones y donde la visión es más aguda. Mediante espectrofotometría se han identificado tres tipos de conos, con picos de absorción en las zonas amarilla, verde y azul, de los que depende el sentido del color. Los bastones, en número de 80 a 100 millones, son más numerosos hacia la periferia de la retina y son sensibles a la luz débil. Asimismo, desempeñan un papel muy importante en la visión en blanco y negro y en la detección del movimiento.

Las fibras nerviosas, junto con los vasos sanguíneos que irrigan la retina, atraviesan la coroides, la capa media de las tres que forman la pared de la cámara posterior, y abandonan el ojo formando el nervio óptico en un punto ligeramente excéntrico que, debido a la ausencia de fotorreceptores, se conoce como *mancha ciega*.

Los vasos retinianos, las únicas arterias y venas visibles de forma directa, pueden visualizarse dirigiendo una luz a través de la pupila y utilizando un oftalmoscopio para enfocar su imagen. Este examen retinoscópico forma parte de la exploración médica habitual y es importante para valorar el componente vascular de enfermedades como la arteriosclerosis, la hipertensión y la diabetes, que puede provocar hemorragias y/o exudados retinianos causantes de defectos en el campo visual.

#### 7.5.1.2. MECANISMO DE ACOMODACIÓN DEL OJO

En el ojo emetrópico (normal), cuando los rayos de luz atraviesan la córnea, la pupila y el cristalino, se enfocan sobre la retina y producen una imagen invertida que es revertida de nuevo por los centros visuales del cerebro.

Cuando se observa un objeto distante, el cristalino se aplanar. Si se miran objetos cercanos, el cristalino se acomoda, es decir, aumenta su potencia, mediante la contracción de los músculos ciliares, lo que le permite adoptar una forma más oval y convexa. Al

mismo tiempo, el iris contrae la pupila y esto mejora la calidad de la imagen al reducir las aberraciones esféricas y cromáticas del sistema y aumentar la profundidad del campo.

En la visión binocular, la acomodación se acompaña necesariamente de una convergencia proporcional de ambos ojos.

#### 7.5.1.3. CAMPO VISUAL Y CAMPO DE FIJACIÓN

El campo visual es el espacio que abarcan los ojos en reposo, y está limitado por los obstáculos anatómicos existentes en el plano horizontal, es más reducido en el lado de la nariz, y en el plano vertical, limitado por el borde superior de la órbita. En la visión binocular, el campo horizontal abarca unos 180° y el campo vertical, de 120 a 130°. En la visión diurna, la mayoría de las funciones visuales se debilitan hacia la periferia del campo visual, en cambio, mejora la percepción del movimiento. En la visión nocturna se produce una considerable pérdida de agudeza en el centro del campo visual, donde, los bastones son menos numerosos.

El campo de fijación se extiende más allá del campo visual gracias a la movilidad de los ojos, la cabeza y el cuerpo. En las actividades laborales lo que importa es el campo de fijación. Las causas de reducción del campo visual, anatómicas o fisiológicas, son muy numerosas: estrechamiento de la pupila, opacidad del cristalino, alteraciones patológicas de la retina, de las vías o de los centros visuales, brillantez del objeto a percibir, monturas de las gafas de corrección o de protección, movimiento y velocidad del objeto a percibir...

#### 7.5.1.4. AGUDEZA VISUAL

La agudeza visual (AV) es la capacidad de discriminar con precisión los detalles de los objetos del campo visual. Se indica como la dimensión mínima de algunos aspectos críticos de un objeto de prueba que un sujeto puede identificar correctamente<sup>33</sup>. Una buena agudeza visual es la capacidad para distinguir detalles pequeños. La agudeza visual define el límite de la discriminación espacial.

El tamaño retiniano de un objeto depende no sólo de su tamaño físico, sino también de su distancia al ojo; por tanto, se expresa como el ángulo visual (generalmente en minutos de arco). La agudeza visual es el valor inverso de este arco.

Riggs describe varios métodos de valoración de la agudeza visual. En la práctica clínica y laboral, la tarea de reconocimiento, en la que se pide al sujeto que nombre el objeto de prueba y localice algunos detalles de éste, es la que se emplea con más frecuencia. Por

---

<sup>33</sup> Riggs, en Graham y cols. 1965



comodidad, en oftalmología, la agudeza visual se determina en relación a un valor *normal* utilizando gráficas que presentan una serie de objetos de tamaño diferente, que deben visualizarse a una distancia normalizada.

En la práctica clínica, los gráficos de Snellen son los más utilizados para valorar la agudeza visual; se emplean una serie de objetos de prueba en los que el tamaño y la anchura de los caracteres se ha diseñado para cubrir un ángulo de 1 minuto a una distancia normalizada que varía según los países (en Estados Unidos, 20 pies entre el gráfico y el sujeto de la prueba; en la mayoría de los países europeos, 6 metros). Por tanto, la puntuación normal de Snellen es 20/20. Asimismo, se dispone de objetos de mayor tamaño que forman un ángulo de 1 minuto de arco a distancias mayores.

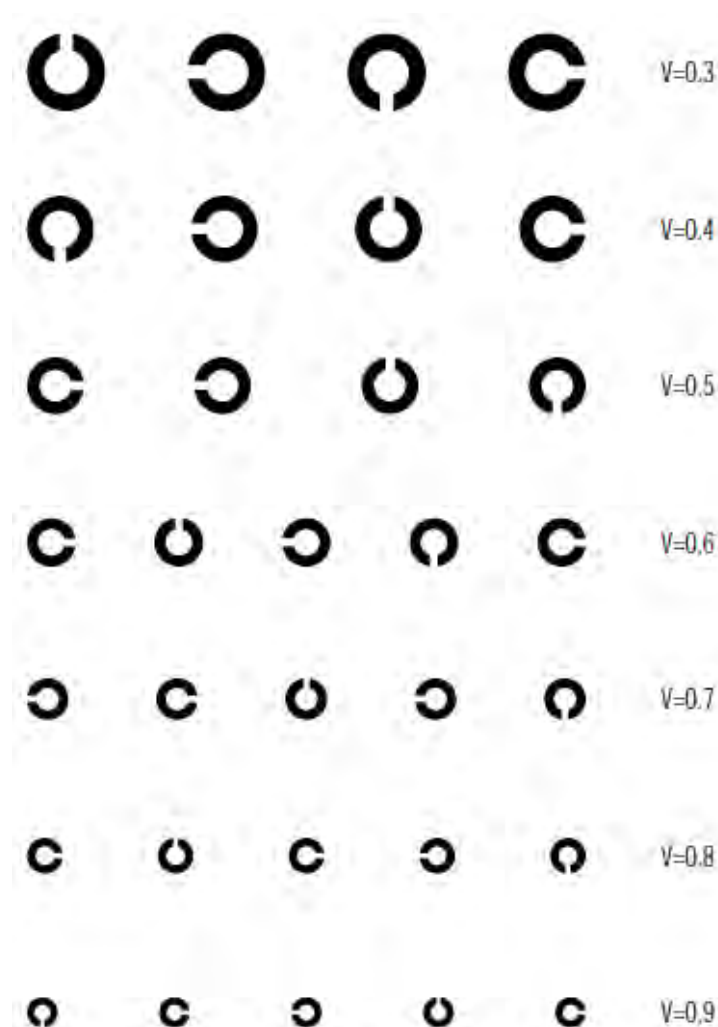


Gráfico de Snellen: anillos de Landolt (agudeza en valores decimales)

La agudeza visual de un individuo se expresa como la relación  $AV = D'/D$ , en la que  $D'$  es la distancia de visualización normalizada y  $D$ , la distancia a la que el objeto de prueba más pequeño correctamente identificado por el individuo forma un ángulo de 1 minuto de arco. Por ejemplo, la AV de una persona es 20/30 si, a una distancia de visualización de 20 pies, sólo puede identificar un objeto que forma un ángulo de 1 minuto a 30 pies.

En la práctica optométrica, los objetos suelen ser letras del alfabeto u objetos de formas familiares, para los niños y las personas analfabetas. Sin embargo, cuando se repite la prueba, los gráficos deben presentarse con caracteres que no puedan aprenderse, para que no intervengan factores culturales ni educativos en el reconocimiento de las diferencias. Este es uno de los motivos por los que en la actualidad se recomienda en todo el mundo el uso de los anillos de Landolt, al menos en los estudios científicos. Los anillos de Landolt son círculos con un hueco y el sujeto debe identificar la posición del mismo. Salvo en las personas de edad avanzada y en los individuos con defectos de la acomodación (presbiopía), la agudeza visual próxima y remota son paralelas. En la mayoría de los trabajos se necesita un buen grado de agudeza visual de cerca y de lejos. Para evaluar la visión cercana existen gráficos de Snellen de diferentes tipos. El siguiente gráfico de Snellen debe mantenerse a 40 cm. del ojo (16 pulgadas); en Europa hay gráficos similares para una distancia de lectura de 30 cm, la distancia adecuada para leer un periódico.

Al extenderse el uso de pantallas de visualización de datos, ha aumentado el interés en la salud laboral por realizar pruebas a mayor distancia<sup>34</sup>, de 60 a 70 cm., con el fin de corregir de forma adecuada a los operadores que trabajan con dichas pantallas.

#### Factores que influyen en la agudeza visual

La primera limitación de la agudeza visual se encuentra en la estructura de la retina. En la visión diurna, puede superar los 10/10 en la fovea y disminuir con rapidez al desplazarse algunos grados con respecto al centro de la retina. En la visión nocturna, la agudeza visual es mínima o nula en el centro, pero puede alcanzar la décima parte en la periferia, por la distribución de los conos y los bastones.

El diámetro de la pupila actúa sobre la visión de forma compleja. Al dilatarse, la pupila permite que pase más luz al ojo para estimular la retina; se reduce al mínimo la borrosidad causada por la difracción. Una pupila más estrecha, sin embargo, reduce los efectos negativos de las aberraciones del cristalino mencionadas previamente. En general, un diámetro pupilar de 3 a 6 mm. aumenta la claridad de la visión.

Gracias al proceso de adaptación, el ser humano puede ver tan bien con la luz de la luna como con la luz brillante del sol, aunque existe una diferencia de luminosidad de 1 a 10.000.000. La sensibilidad visual es tan amplia que la intensidad luminosa debe representarse en una gráfica a escala logarítmica.

---

<sup>34</sup> Krueger (1992)

Cm	Pulgadas				Equivalentes de distancia	Decimales	
					↓		
620	256	O S N R H			0,06	$\frac{20}{333}$	
500	192	Z C D V O N			0,08	$\frac{20}{250}$	
400	160	C K V R N H D O			0,1	$\frac{20}{200}$	
310	128	D H Z V K V R C O S N			0,12	$\frac{20}{167}$	
250	96	R N H S O		K D C Z V	0,16	$\frac{20}{125}$	
200	80	V R N H Z		D C K S O	0,2	$\frac{20}{100}$	
160	64	S O C Z N		H R V D K	0,25	$\frac{20}{80}$	
125	48	N H R O C		C V H R N	0,33	$\frac{20}{60}$	
100	40	C V O R D		D O S K R	0,4	$\frac{20}{50}$	
80	32	H S V Z O		H Z D O V	0,5	$\frac{20}{40}$	
60	24	R C D E N		K R C N E	0,66	$\frac{20}{30}$	
50	20	R C D E N		N V R D C	0,8	$\frac{20}{25}$	
40	16	R C D E N		N V R D C	1,0	$\frac{20}{20}$	
30	13	R C D E N		N V R D C	1,2	$\frac{20}{16,7}$	

Gráfico de Snellen: letras de Sloan para medir la visión de cerca (40 cm) (agudeza en valores decimales y en equivalentes de distancia).

Al entrar en una habitación oscura, la sensación obtenida es de ceguera; después, se comienzan a percibir los objetos de alrededor. Al aumentar el nivel luminoso, se pasa de una visión dominada por los bastones a una visión dominada por los conos. La variación asociada de la sensibilidad se conoce como cambio de Purkinje. La retina adaptada a la oscuridad es sensible sobre todo a la luminosidad baja, pero se caracteriza por la ausencia de visión en colores y la escasa resolución espacial (baja AV); la retina adaptada a la luz no es muy sensible a la luminosidad baja, sólo se perciben los objetos bien iluminados, pero se caracteriza por un alto grado de resolución espacial y temporal y por la visión en color. Después de la desensibilización inducida por la estimulación luminosa intensa, el ojo recupera su sensibilidad de acuerdo con una progresión típica: al principio se produce un cambio rápido que afecta a los conos y a la adaptación diurna o fotópica, seguido de una fase más lenta en la que participan los bastones y la adaptación nocturna o escotópica; la zona intermedia se relaciona con la luz tenue o adaptación mesópica.

En el medio de trabajo, la adaptación nocturna carece de relevancia, salvo en las actividades que tienen lugar en una habitación oscura y para la conducción nocturna, aunque el reflejo de los faros sobre la carretera siempre aporta algo de luz. La adaptación a la luz diurna procedente de la iluminación natural o artificial es la más habitual en las actividades industriales o administrativas. Sin embargo, en la actualidad, dada la importancia del trabajo con pantallas de visualización de datos, muchos trabajadores prefieren operar con luz tenue.

En la práctica laboral, el comportamiento de los grupos de personas tiene una importancia especial, en comparación con la evaluación individual, a la hora de diseñar el lugar de trabajo apropiado. Los resultados de un estudio realizado con 780 trabajadores en Ginebra<sup>35</sup> muestran la variación del porcentaje de distribución de los niveles de agudeza al cambiar las condiciones de iluminación. Una vez adaptados a la luz diurna, la mayoría de los trabajadores sometidos a las pruebas visuales, con corrección ocular, alcanzan un nivel de agudeza visual bastante adecuado; en cuanto se reduce el nivel de iluminación circundante, la AV media disminuye y esta reducción es más marcada en algunas personas en las que se reduce mucho la agudeza visual; esta tendencia empeora si la luz tenue se acompaña de alguna fuente de deslumbramiento. En otras palabras, resulta difícil predecir el comportamiento de un sujeto con luz tenue basándose en su puntuación en condiciones óptimas de luz diurna.

Si los ojos se dirigen de un área oscura a un área iluminada y de ésta al área oscura otra vez, o si el sujeto mira un momento a una lámpara o a una ventana, y la iluminación varía

---

<sup>35</sup> Meyer y cols. (1990)

de 1.000 a 12.000 cd/m<sup>2</sup>, las variaciones en la adaptación se producen en un área limitada del campo visual (adaptación local). El tiempo de recuperación tras un deslumbramiento discapacitante puede durar varios segundos, dependiendo del nivel de iluminación y del contraste<sup>36</sup>.

La desadaptación local se acompaña generalmente de la imagen continuada de una mancha brillante, en color o no, que produce un velo o efecto de enmascaramiento (esta es la imagen consecutiva). Las imágenes residuales se han estudiado minuciosamente para comprender mejor algunos fenómenos visuales<sup>37</sup>. Tras cesar la estimulación visual, el efecto permanece durante algún tiempo; esta persistencia explica, por ejemplo, por qué se produce una percepción continua de la luz cuando se mira a una fuente de luz parpadeante. Si la frecuencia de parpadeo es lo suficientemente rápida, o cuando se miran los coches por la noche, vemos una línea de luz. Estas imágenes residuales aparecen en la oscuridad cuando se mira a un punto luminoso; también son producidas por áreas de color que dejan imágenes residuales en color. Esto explica por qué los operadores de monitores de representación visual pueden percibir imágenes visuales nítidas después de mirar durante un tiempo prolongado a la pantalla y mover los ojos hacia otra área de la habitación.

---

<sup>36</sup> Meyer y cols. (1986)

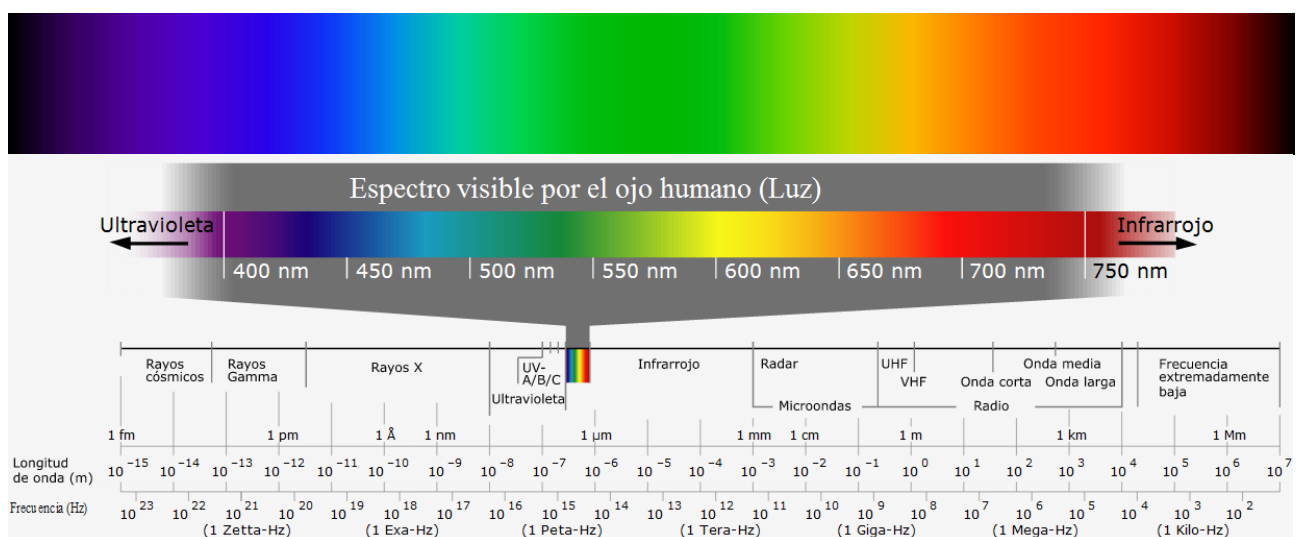
<sup>37</sup> Brown, en Graham y cols. (1965)

## 7.5.2. LA PERCEPCIÓN DEL COLOR

### 7.5.2.1. VISIÓN DEL COLOR

El color desempeña una función señalizadora importante y ayuda a realizar la organización perceptiva.

El color está estrechamente relacionado con la longitud de onda. Las curvas de reflectancia de los colores acromáticos (negro, blanco y gris) son planas, es decir, muestran una reflexión idéntica en todo el espectro, mientras que las curvas de reflectancia de los colores cromáticos presentan una reflexión selectiva, de tal manera que algunas longitudes de onda se reflejan más que otras.



Espectro visible por el ojo humano (luz).

COLOR	Longitud de onda
Violeta	~380-450nm
Azul	~450-495nm
Verde	~495-570nm
Amarillo	~570-590nm
Naranja	~590-620nm
rojo	~620-750nm

Todos los colores que se distinguen se pueden describir a partir del rojo, el amarillo, el verde, el azul y sus combinaciones. Además, variando la intensidad y la saturación, se pueden crear más de un millón de colores distinguibles. La búsqueda del código neuronal para estos colores se ha concentrado en determinar el código de la longitud de onda.

La teoría tricromática de la visión, que se asocia a Young y Helmholtz, afirma que la visión de los colores depende de la actividad de tres mecanismos receptores. Esta teoría se propuso a partir de los resultados de los experimentos psicofísicos de igualación de los colores, que demostraron que al mezclar tres longitudes de onda en diferentes proporciones podemos igualar cualquier otra longitud de onda del espectro.

La visión tricromática se basa en tres pigmentos de conos que absorben mejor la luz en diferentes regiones del espectro. El código de un color concreto es el patrón de activación de los tres receptores que contienen estos tres pigmentos. No obstante, dos estímulos físicamente distintos pueden percibirse del mismo modo. Estos estímulos, que reciben el nombre de metámeros, pueden crear el mismo patrón de activación en los tres receptores. La visión de los colores es posible a partir de dos pigmentos, pero no a partir de uno sólo. La adición del tercer pigmento crea más colores que con dos.

La experiencia del color se crea en el sistema nervioso. El color es la manera que tiene el cerebro de hacernos saber las longitudes de onda que están presentes, pero no hay nada intrínsecamente azul en las longitudes de onda corta ni nada intrínsecamente rojo en las longitudes de onda larga.

La constancia cromática hace referencia a la forma en la que la percepción del color permanece relativamente invariable, incluso cuando los objetos se ven en condiciones de iluminación distintas. Esta constancia se debe a diversos factores que incluyen la adaptación cromática, el efecto del entorno y la memoria del color.

La constancia de luminosidad hace referencia a la forma en que la percepción de la luminosidad permanece relativamente invariable, incluso cuando los objetos se ven con diferentes intensidades de luz. La percepción de la luminosidad depende del porcentaje de luz reflejado de un objeto, y no de la cantidad de luz reflejada. La constancia de luminosidad se debe a diversos factores, tales como la forma en la que la proporción de la luz reflejada de diferentes áreas permanece constante en condiciones de iluminación distintas y como la información de las condiciones de iluminación, que nos ayuda a diferenciar entre los bordes de reflectancia y los bordes de iluminación.

#### 7.5.2.2. CUALIDADES PSICOCROMÁTICAS DE LOS COLORES

La percepción del color de los objetos depende del color de la luz con la que se iluminen dichos objetos, y de las propiedades que posean para reflejar dicha luz. La temperatura del color es muy importante, porque contribuye al bienestar del usuario. La correcta elección de los colores adquiere una especial relevancia cuando está relacionada con funciones en las que es importante identificar los objetos que se deben manipular o clarificar.

Los colores poseen diferentes cualidades como:

- La cualidad térmica: Está basada en la impresión subjetiva de la temperatura que producen. Los colores cálidos van desde el rojo hasta el amarillo verdoso y los fríos desde el verde al azul.
- La cualidad cinética: Relacionada con el efecto de movimiento que producen los colores, creando la impresión de avanzar o retroceder.
- La cualidad ambiental: Se relaciona con la sensación específica de confort que el ambiente cromático produce en el ser humano.

### 7.5.2.3. SELECCIÓN DEL COLOR

No existe una fórmula válida que permita seleccionar los colores más adecuados para cada espacio, sobre todo teniendo en cuenta que el gusto por los colores varía con la personalidad, la edad, el sexo, el clima, el grupo étnico... No obstante se pueden seguir unos criterios generales.

Tabla del simbolismo de los colores:

COLOR	SIGNIFICADO
BLANCO	Pureza, inocencia, optimismo.
LAVANDA	Equilibrio.
PLATA	Paz, tenacidad.
GRIS	Estabilidad.
AMARILLO	Inteligencia, alentador, tibieza, precaución, innovación.
ORO	Fortaleza.
NARANJA	Energía.
ROJO	Energía, vitalidad, poder, fuerza, apasionamiento, valor, agresividad, impulsivo.
PÚRPURA	Serenidad.
AZUL	Verdad, serenidad, armonía, fidelidad, sinceridad, responsabilidad.
AÑIL	Verdad.
VERDE	Ecuanimidad inexperta, acaudalado, celos, moderado, equilibrado, tradicional.
NEGRO	Silencio, elegancia, poder.

Fuente: [www.webusable.com](http://www.webusable.com) *El significado de los colores.*



Tabla de sensaciones (se realiza a la inversa que en la tabla anterior, es decir, sentimientos que se quieren sugerir y promover en determinadas situaciones):

SENSACIÓN	COLORES
Calidez, tibieza.	Colores tibios asociados al fuego: marrón, rojo, naranja y amarillo.
Fascinación, emoción.	El amarillo dorado deja una sensación perdurable, brillante, fuerte.
Sorpresa.	El granate, sorprende por su poco uso.
Feminidad.	La variedad de tonos alrededor del rosa y lavanda
Dramatismo.	Verde oscuro, poderoso.
Naturalidad.	Sutiles tonos de gris y verde.
Masculinidad.	Marrones, piel curtida y azules.
Juvenil.	Colores saturados, brillantes, extremos, con el mayor contraste posible.
Serenidad.	Sombras frescas, del violeta al verde.
Frescura.	Tonos neutros de azul, violeta y gris.

Fuente: [www.webusable.com](http://www.webusable.com) *El significado de los colores.*

### 7.5.3. LA PERCEPCIÓN DE LA PROFUNDIDAD

Uno de los problemas de la percepción de la profundidad es que no hay forma de determinar la localización de una fuente de luz basándose en puntos individuales de estimulación en la retina. Además, también es preciso tener en cuenta la información de la imagen global de la retina. Una forma de hacer esto consiste en utilizar el enfoque de las claves, que se concentra en identificar la información de la imagen retiniana que correlaciona con la profundidad de la escena.

Las claves oculomotrices representadas por la convergencia y la acomodación se basan en el movimiento hacia dentro de los ojos y la tensión de los músculos oculares que se producen durante el enfoque. Estas claves resultan eficaces únicamente para objetos cercanos. Las claves monoculares, que funcionan con un ojo, incluyen la acomodación, las claves pictóricas, que se refieren a la información sobre la profundidad que puede representarse en una imagen bidimensional, y las claves basadas en el movimiento, que se apoyan en la percepción de la profundidad creada por el movimiento.

Las claves pictóricas son fuentes de información sobre la profundidad que puede representarse en una imagen, éstas funcionan si el observador está quieto, son las

siguientes:

- Oclusión: Cuando un objeto oculta a otro de la vista, el objeto que está oculto, se ve más lejos. No ofrece información de la distancia absoluta, sino únicamente de la relativa.
- Altura relativa: Los objetos que tienen su base en una posición más alta de la imagen, parecen estar más lejos. Los objetos que están encima del horizonte parecen estar más lejos si están en una posición más baja del campo visual.
- Sombras proyectadas: Las sombras proyectadas por los objetos ofrecen información sobre las localizaciones de estos.
- Tamaño relativo: Cuando dos objetos tienen el mismo tamaño, el que está más lejos ocupará proporcionalmente menos espacio del campo visual que el que está más cerca.
- Tamaño familiar: El conocimiento del tamaño de un objeto influye en la percepción de la distancia de dicho objeto.
- Perspectiva atmosférica: Los objetos que están a una mayor distancia se perciben con un menor grado de nitidez, puesto que se observan mirando a través del aire, que contiene pequeñas partículas, tales como polvo, gotas de agua y diversas formas de contaminación atmosférica.
- Perspectiva lineal: Es la convergencia perceptiva que se produce en las líneas paralelas de la escena a medida que aumenta la distancia. A distancia infinito, las líneas convergen, éste es el denominado punto de fuga.
- Gradientes de textura: Los elementos que presentan un espaciado idéntico en una escena parecen estar más próximos a medida que aumenta la distancia.

Las claves basadas en el movimiento mejoran la percepción de profundidad:

- Paralelaje del movimiento: Es el efecto que produce que los objetos cercanos se muevan rápidamente mientras que los lejanos lo hagan lentamente.
- Eliminación y acrecentamiento: Cuando dos superficies se encuentran a distancias distintas, cualquier movimiento lateral del observador hace que las superficies parezcan moverse unas en relación a otras. La superficie trasera queda tapada, o eliminada por una superficie que está delante cuando el observador se mueve en la otra dirección.

La disparidad binocular, es decir, la diferencia entre las imágenes de los dos ojos, puede dar lugar a estereopsia, entiéndase, percepción de la profundidad. La disparidad se produce cuando algunos objetos se proyectan en puntos no correspondientes de las retinas. El grado de no correspondencia, que recibe el nombre de disparidad, ofrece también información sobre la percepción de la profundidad.

Utilizando un estereograma de puntos aleatorios, puede demostrarse que la disparidad por

sí misma, sin ninguna otra clave, puede dar lugar a la percepción de la profundidad. Hay células de percepción binocular en el cortex que están adaptadas a disparidades específicas y que también intervienen en la percepción de la profundidad. Los experimentos con imágenes cerebrales indican que la estereopsia activa un área del cortex parietal. Para que la información de la disparidad sea útil, es necesario igualar los puntos de una imagen retiniana con puntos similares de otra imagen. Esto recibe el nombre de problema de correspondencia.

#### 7.5.4. LA PERCEPCIÓN DEL TAMAÑO

El experimento de Holway y Boring demostró que la percepción del tamaño se ve influida por la percepción de la profundidad, hasta el punto de que una buena percepción de ésta permite juzgar el tamaño con exactitud, mientras que una mala percepción de la misma da lugar a un juicio sobre el tamaño basado en el ángulo visual del objeto.

El principio de la constancia de tamaño afirma que nuestra percepción del tamaño de un objeto permanece relativamente invariable, incluso cuando el objeto se vea a distancias diferentes, lo que provoca cambios en los tamaños de la imagen del objeto que se forma en la retina. La constancia de tamaño se produce cuando se dispone de una buena información de la profundidad. El vínculo entre la constancia de tamaño y la percepción de la profundidad ha llevado a la idea del escalamiento distancia-tamaño. La ley de Emmert, que afirma que el tamaño de una postimagen depende de la distancia a la que aparece la postimagen, es un ejemplo de escalamiento distancia-tamaño.

#### 7.5.5. LA PERCEPCIÓN DEL MOVIMIENTO

Aunque algunos animales tienen una percepción reducida de la profundidad o una visión de los colores muy rudimentaria, ninguno carece de la capacidad para percibir el movimiento. De hecho, si se pierde esta capacidad, como ocurre en los casos de agnosia del movimiento, se plantean graves problemas para la vida diaria. El estudio de la percepción del movimiento nos ofrece ejemplos como los siguientes:

- La percepción es una creación del sistema nervioso. Se percibe movimiento incluso cuando no lo hay, como cuando el sistema nervioso hace que se perciba movimiento al ver unas luces fijas que se apagan y se encienden una detrás de otra.
- La percepción visual depende a menudo de algo más que la imagen retiniana. Se percibe movimiento cuando se sigue algún objeto en movimiento, aún cuando su imagen permanece en el mismo lugar de la retina.
- La percepción implica a menudo una interacción entre diferentes cualidades perceptivas. Nuestros propios movimientos y el movimiento de los objetos pueden ayudar a que se perciba con más precisión la forma de estos últimos y su

localización en el espacio.

- La percepción de movimiento depende a menudo de los heurísticos, o reglas **generales que ofrecen la “mejor predicción” de lo que es un estímulo concreto, pero** también del procesamiento arriba-abajo que se basa en factores cognitivos, como el conocimiento que un observador aporta a una situación concreta.

Los cuatro tipos de percepción del movimiento son:

- El movimiento real: Consiste en mover un objeto a través del campo visual de un espectador.
- El movimiento estroboscópico o aparente: Es la ilusión de movimiento mediante el encendido y apagado, una detrás de la otra, de luces contiguas (Exner, 1875).
- El movimiento inducido: Es una ilusión que se produce cuando el movimiento de un objeto provoca la percepción de movimiento en otro objeto.
- Los posefectos del movimiento: Al contemplar una cascada de agua y después apartar la vista, el suelo parece moverse en la dirección opuesta al movimiento de la cascada.

El cortex estriado contiene neuronas sintonizadas para responder al movimiento en una dirección concreta. El Circuito neuronal de Reichart demuestra que el procesamiento neuronal puede crear una neurona que responda a la dirección en la que se mueve el estímulo. La activación de las neuronas del cortex TM se encuentra tan estrechamente ligada a la percepción del movimiento, que el código para percibir la dirección del movimiento se aproxima a la especificada para las neuronas.

La teoría de la descarga coloraria propone que la percepción de movimiento depende de tres tipos de señales: la señal motriz, la señal de la descarga coloraria y la señal de movimiento de la imagen. Una estructura hipotética denominada comparador analiza estas señales para determinar si la información del estímulo de la retina se debe al movimiento del estímulo en el entorno o al movimiento de los ojos del observador. Hay unas neuronas conocidas con el nombre de neuronas del movimiento real que responden al movimiento real del estímulo, pero no lo hacen al movimiento del estímulo en la retina causado por los movimientos de los ojos o de la cabeza.

Es posible analizar la percepción del movimiento estudiando la forma en que algunos objetos se mueven respecto a otros en un entorno. Una perturbación local en la matriz óptica indica que el objeto que está causando la perturbación se está moviendo. El flujo óptico global indica que el observador se mueve a través de un entorno que está fijo.

El movimiento puede provocar una organización perceptiva, por lo que los objetos que no se ven previamente, se hacen visibles al entrar en movimiento.

Percepción del movimiento y heurísticos: Evidencia a favor de la inteligencia de la

percepción del movimiento se obtiene en experimentos que demuestran que el sistema hace uso de heurísticos para determinar la percepción del movimiento aparente. Dos heurísticos que funcionan en el movimiento aparente son el que afirma que el movimiento suele continuar en la misma dirección y el que postula que la percepción se ve influida por la forma en que los objetos del entorno se ocluyen entre sí.

Percepción de movimiento y significado: La inteligencia de la percepción de movimiento también se ejemplifica en el modo en el que el significado de un estímulo puede influir en dicha percepción. Como cuando se percibe el significado de un estímulo que representa un rostro de alto contraste se percibe movimiento; del mismo modo, nuestro conocimiento de los tipos de movimientos posibles en los humanos nos influye a la hora de juzgar la ruta que sigue el movimiento aparente. Los experimentos con técnicas de escáner cerebral han demostrado que los movimientos que atraviesan una parte del cuerpo (movimiento imposible) y los movimientos que rodean una parte del cuerpo (movimiento posible) activan el cortex parietal mientras que el cortex motor sólo se activa en el caso de movimiento posible.

#### 7.5.6. PERCEPCIÓN Y ACCIÓN

J. J. Gibson se concentra en estudiar la percepción tal como se produce en su entorno natural, haciendo hincapié en la conexión existente entre la percepción y la acción. Así pues, es la información del entorno, y no la información neuronal o la información de la imagen retiniana, el punto de partida de Gibson para el análisis de la percepción. Una fuente importante de la información del entorno es el movimiento.

La matriz óptica: La matriz óptica es la estructura óptica que tiene el entorno en un punto. Hay información en la matriz óptica estática; además, cuando el observador se mueve, también obtiene información adicional, pues el movimiento crea un flujo óptico.

El flujo óptico proporciona información sobre el lugar al que se dirige el observador, además crea diversas informaciones invariantes para la percepción, como es el foco de expansión. El foco de expansión es un punto en la distancia donde no hay flujo alguno, se encuentra centrado en el destino del observador y proporciona información sobre la dirección en la que se mueve el observador. Los gradientes de textura también ofrecen ejemplos de información invariante. El flujo óptico se autoproduce, lo que significa que se crea mediante el movimiento del observador. Debido a esto, podemos decir que la relación entre el flujo y el movimiento es circular. El movimiento crea flujo que, a su vez, proporciona información para guiar el movimiento posterior.

Los experimentos en los que se han estudiado los estímulos del flujo óptico demuestran que las personas pueden utilizar éste para determinar su orientación. Se ha propuesto que, mientras se conduce un coche, las personas utilizan el flujo locomotor, y no el foco de

expansión, para determinar su orientación, sobre todo al tomar una curva. Los experimentos demuestran que los conductores miran al punto tangente de una curva mientras giran. Además, existen datos de que el flujo óptico puede utilizarse para guiar el movimiento mientras se camina, aunque también puede utilizarse otra información, como los edificios y la información visual. Además, los resultados de los experimentos de *marcha ciega* indican que también podemos encontrar el camino cuando no hay flujo óptico.

Aunque por lo general se considera que los mecanismos más importantes del equilibrio son el sistema vestibular del oído interno y los receptores de nuestros músculos y articulaciones, que ayudan a detectar la posición nuestros brazos y piernas, los experimentos realizados con la habitación oscilante (el suelo está fijo mientras que las paredes y el techo pueden moverse) demuestran que la capacidad para mantener el equilibrio puede verse influida por la información del flujo óptico; demostrando que existe una conexión directa entre el sentido de la vista y nuestra capacidad para mantener el equilibrio, por ello se tienen más dificultades para mantener el equilibrio con los ojos cerrados, porque el marco de referencia ayuda a que los músculos realicen ajustes continuos para mantener el equilibrio. También hay datos de que la información de flujo, como la contenida en la relación del tau (relación entre el tamaño de una imagen en dos momentos distintos), ayuda a predecir el momento en el que se producirá la colisión. Puesto que si se sabe la relación entre el tamaño de una imagen en dos momentos distintos y se divide esta relación entre la rapidez con la que los bordes del objeto se expanden durante ese tiempo, podremos calcular el momento de la colisión.

Cualquier actividad, por muy sencilla que sea, implica una secuencia precisa de movimientos de brazos, manos, dedos o del órgano correspondiente para cada acción. Cada actividad que se realiza implica el acoplamiento de percepción y acción. Investigaciones han revelado la existencia de conexiones entre el sistema perceptivo, responsable de nuestras experiencias de vista y tacto, y el sistema motor, responsable de crear acciones con nuestros músculos.

El punto de partida de la interacción entre los sistemas perceptivo y motor es la percepción de la profundidad, para saber la distancia a la que se encuentran los objetos y llegar a ellos con precisión. En el cortex parietal hay importantes estructuras que controlan la coordinación entre la percepción y la acción. Estas estructuras envían señales a las áreas premotriz y motriz del cortex.

Hay neuronas en el área interparietal anterior (IPA), que se conocen como neuronas de dominancia motriz, de dominancia visual y visuales y motrices. Las neuronas denominadas neuronas espejo responden al hecho de agarrar un objeto y al hecho de mirar a otra persona que coge un objeto. Estas neuronas pueden ayudar a entender los movimientos de otros observadores, así como a imitar dichos movimientos.

## 7.6. PERCEPCIÓN A TRAVÉS DEL OÍDO

### 7.6.1. EL OÍDO

#### 7.6.1.1. ANATOMÍA DEL OÍDO

El oído es el órgano sensorial responsable de la audición y del mantenimiento del equilibrio mediante la detección de la posición corporal y del movimiento de la cabeza. Se compone de tres partes: oído externo, medio e interno; el oído externo se sitúa fuera del cráneo, mientras que las otras dos partes se hallan dentro del hueso temporal.

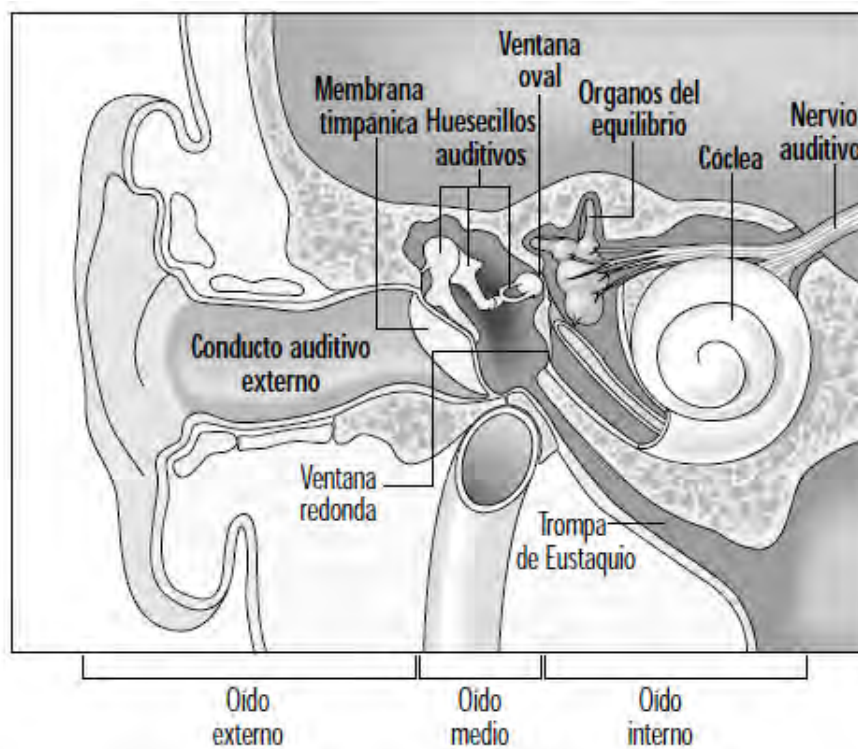


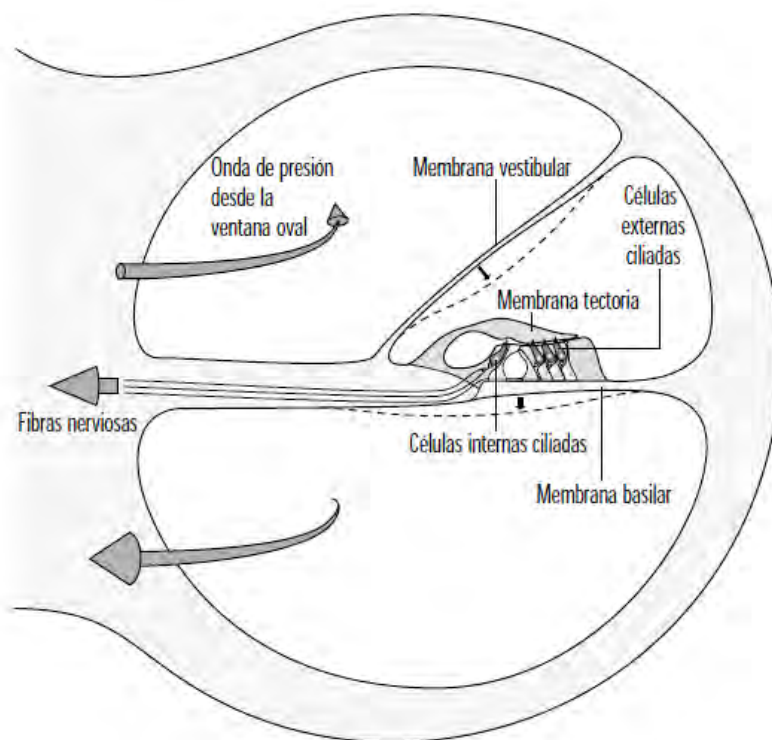
Diagrama del oído. Fuente: Hohmann y Schmuckli 1989.

El oído externo está formado por el pabellón auricular, una estructura cartilaginosa recubierta de piel, y por el conducto auditivo externo, un cilindro de forma irregular de unos 25 mm. de largo y recubierto de glándulas que secretan cera.

El oído medio consta de la cavidad timpánica, una cavidad llena de aire cuyas paredes externas forman la membrana timpánica (tímpano) y que se comunica en dirección proximal con la nasofaringe a través de las trompas de Eustaquio, que mantienen el equilibrio de presión a ambos lados de la membrana timpánica. Así, debido a esta comunicación, al tragar se iguala la presión y se recupera la audición perdida por un cambio rápido en la presión barométrica. La cavidad timpánica también contiene los huesecillos martillo, yunque y estribo, que son controlados por los músculos del estribo y tensor del tímpano. La membrana timpánica se une al oído interno por los huesecillos, concretamente a través del pie móvil del estribo, que está en contacto con la ventana

oval.

El oído interno contiene el aparato sensorial propiamente dicho. Está formado por una cubierta ósea (el laberinto óseo) en la que se encuentra el laberinto membranoso, una serie de cavidades que forman un sistema cerrado lleno de endolinfa, un líquido rico en potasio. El laberinto membranoso está separado del laberinto óseo por la perilinfa, un líquido rico en sodio. El laberinto óseo consta de dos partes. La porción anterior se conoce como cóclea y es el órgano real de la audición. Tiene una forma espiral que recuerda a la concha de un caracol, apuntada en sentido anterior. La porción posterior del laberinto óseo contiene el vestíbulo y los canales semicirculares y es la parte responsable del equilibrio. Las estructuras neurosensoriales que participan en la audición y el equilibrio se localizan en el laberinto membranoso: el órgano de Corti se localiza en el canal coclear, mientras que la mácula del utrículo y del sáculo y las ampollas de los canales semicirculares se localizan en la sección posterior.



Corte horizontal de la cóclea. Diámetro aproximado: 1,5 mm. Fuente: Hohmann y Schmuckli 1989.



## 7.6.1.2. FISIOLÓGIA DE LA AUDICIÓN

### Conducción aérea del sonido:

El oído se compone de un sistema de conducción del sonido, el oído medio y externo, y de un receptor, el oído interno.

Las ondas sonoras que atraviesan el conducto auditivo externo inciden sobre la membrana timpánica y la hacen vibrar. Esta vibración se transmite al estribo a través del martillo y del yunque. La superficie de la membrana timpánica es casi 16 veces superior al área del pie del martillo ( $55 \text{ mm}^2/3,5 \text{ mm}^2$ ), y esto, en combinación con el mecanismo de amplificación de los huesecillos, aumenta 22 veces la presión sonora. Debido a la frecuencia de resonancia del oído medio, el índice de transmisión óptimo se encuentra entre 1.000 y 2.000 Hz. Al moverse el pie del estribo, se forman ondas en el líquido situado en el interior del canal vestibular. Como el líquido no puede comprimirse, cada movimiento del pie del estribo hacia el interior origina un movimiento equivalente de la ventana redonda hacia fuera, en dirección al oído medio.

Durante la exposición a niveles acústicos elevados, el músculo del estribo se contrae para proteger al oído interno (reflejo de atenuación). Además de esta función, los músculos del oído medio amplían también los límites dinámicos del oído, mejoran la localización del sonido, reducen la resonancia en el oído medio y controlan la presión del aire en el oído medio y la presión del líquido en el oído interno.

Entre 250 y 4.000 Hz, el umbral del reflejo de atenuación supera en casi 80 dB. al umbral de audición y aumenta unos 0,6 dB/dB al incrementarse la intensidad de la estimulación. Su latencia es de 150 ms. en el umbral y de 24-35 ms. con los estímulos intensos. Para frecuencias menores a la resonancia natural del oído medio, la contracción de los músculos atenúa la transmisión del sonido en unos 10 dB. Debido a su latencia, el reflejo de atenuación ofrece una protección adecuada frente al ruido generado a una frecuencia superior a 2 ó 3 Hz., pero no frente a los impulsos sonoros discretos.

La velocidad de propagación de las ondas sonoras a través el oído depende de la elasticidad de la membrana basilar. La elasticidad aumenta, y la velocidad de la onda, por tanto, disminuye, desde la base de la cóclea hasta la punta. La transferencia de energía vibratoria hasta la membrana de Reissner y la membrana basilar depende de la frecuencia. Para las frecuencias elevadas, la amplitud de onda es mayor en la base, mientras que con las frecuencias más bajas, es mayor en la punta. Por tanto, el punto de mayor excitación mecánica en la cóclea depende de la frecuencia. Este fenómeno explica la capacidad para detectar diferencias en las frecuencias. El movimiento de la membrana basilar provoca fuerzas de cizallamiento en los estereocilios de las células ciliadas y desencadena una serie de acontecimientos mecánicos, eléctricos y bioquímicos, responsables de la transducción



mecánico-sensorial y del procesamiento inicial de las señales acústicas. Las fuerzas de cizallamiento de los estereocilios provocan la apertura de los canales iónicos existentes en las membranas celulares y modifican la permeabilidad de éstas, permitiendo la entrada de iones potasio en las células. Este flujo de iones potasio hacia el interior causa la despolarización y genera un potencial de acción.

Los neurotransmisores liberados en la unión sináptica por la despolarización de las células ciliadas internas desencadenan impulsos neuronales que se transmiten por las fibras aferentes del nervio auditivo hacia los centros nerviosos superiores. La intensidad de la estimulación auditiva depende del número de potenciales de acción por unidad de tiempo y del número de células estimuladas, mientras que la frecuencia percibida depende de la población específica de fibras nerviosas activada. Existe una asociación espacial específica entre la frecuencia del estímulo sonoro y la sección de la corteza cerebral estimulada.

Las células ciliadas internas son mecanorreceptores que transforman las señales generadas en respuesta a la vibración acústica en mensajes eléctricos que se envían al sistema nervioso central. Sin embargo, no depende de ellas el umbral de sensibilidad auditiva ni la extraordinaria selectividad de frecuencias del oído.

Las células ciliadas externas, por otro lado, no envían señales auditivas al cerebro, sino que su función consiste en amplificar unas 100 veces, es decir, 40 dB., la vibración mecánico-acústica en los niveles cercanos al umbral, con lo que se facilita la estimulación de las células ciliadas internas. Se cree que esta amplificación funciona mediante un acoplamiento micromecánico en el que participa la membrana tectoria. Las células ciliadas externas pueden producir más energía de la que reciben de los estímulos externos y, al contraerse de forma activa con frecuencias muy elevadas, pueden funcionar como amplificadores cocleares.

En el oído medio, la interferencia entre las células ciliadas internas y externas crea un sistema de retroalimentación que permite controlar la recepción auditiva, sobre todo el umbral de sensibilidad y la selectividad de frecuencia. Por tanto, las fibras cocleares eferentes pueden ayudar a reducir la lesión coclear causada por la exposición a estímulos acústicos intensos. Las células ciliadas externas pueden sufrir también una contracción refleja en presencia de estímulos intensos. El reflejo de atenuación del oído medio, activo principalmente a frecuencias bajas, y el reflejo de contracción del oído interno, activo a frecuencias altas son, por tanto, complementarios.

#### Conducción ósea del sonido:

Las ondas sonoras pueden transmitirse también a través del cráneo. Existen dos mecanismos posibles:

- En el primero, las ondas de compresión que impactan en el cráneo provocan que la

perilinfia, que no es compresible, deforme las ventanas oval o redonda. Como estas dos ventanas tienen una elasticidad diferente, el movimiento de la endolinfa provoca el movimiento de la membrana basilar.

- El segundo mecanismo se basa en el hecho de que el movimiento de los huesecillos sólo induce movimiento en la rampa vestibular. En este mecanismo, la membrana basilar se mueve a causa del movimiento de traslación producido por la inercia.

La conducción ósea es habitualmente 30-50 dB. menor que la conducción aérea, como puede comprobarse con facilidad si se tapan los dos oídos. No obstante, esto sólo es cierto en los estímulos mediados por el aire, ya que la estimulación ósea directa se atenúa en un grado diferente.

#### Límites de la sensibilidad:

La vibración mecánica induce cambios de potencial en las células del oído interno, las vías de conducción y los centros nerviosos superiores. Sólo se perciben las frecuencias de 16 Hz. a 25.000 Hz. y las presiones de sonido de **20 µPa.** a 20 Pa.

La gama de presiones sonoras que pueden percibirse es de una amplitud enorme, pueden variar en 1 millón de veces. Los umbrales de detección de las presiones sonoras dependen de las frecuencias; son mínimos a 1.000 - 6.000 Hz. y aumentan con las frecuencias extremas.

Con fines prácticos, el nivel de presión sonora se expresa en decibelios (dB), una escala de determinación logarítmica que corresponde a la intensidad de sonido percibida en relación al umbral de audición.

El umbral de discriminación de frecuencias, que es la diferencia mínima detectable en frecuencia, es de 1,5 Hz. para frecuencias de hasta 500 Hz. y del 0,3% de la frecuencia del estímulo para frecuencias superiores. Para presiones de sonido cercanas al umbral de audición, el umbral de discriminación se aproxima al 20%, aunque pueden detectarse diferencias de hasta un 2% con presiones sonoras altas.

Si la frecuencia de dos sonidos se diferencia muy poco, sólo se oirá un tono. La frecuencia percibida será un promedio de los dos tonos de origen, pero su nivel de presión sonora es variable. Si dos estímulos acústicos tienen frecuencias similares con intensidades diferentes se produce un efecto de enmascaramiento. Si la diferencia en la presión sonora es lo suficientemente grande, el enmascaramiento será completo y sólo se percibirá el sonido más alto.

La localización del estímulo acústico depende de la detección de la diferencia temporal entre la llegada del estímulo a cada oído y, por tanto, requiere una audición bilateral intacta. La menor diferencia temporal detectable es  $3 \times 10^{-5}$  segundos. El efecto de



detección selectiva de la cabeza facilita la localización, ya que se producen diferencias en la intensidad del estímulo en cada oído.

La notable capacidad de resolución de los estímulos acústicos en los seres humanos se explica por la descomposición de frecuencias en el oído interno y el análisis de estas en el cerebro. Estos son los mecanismos que permiten detectar e identificar fuentes individuales de sonido como los instrumentos musicales dentro de las complejas señales acústicas que constituyen la música de una orquesta sinfónica.

## 7.6.2. EL SONIDO

La capacidad de oír fenómenos que no podemos ver desempeña una importante función señalizadora, además de señalar eventos importantes del entorno, como los signos de peligro. También realiza un papel muy importante en la comunicación.

Las ondas sonoras, que son cambios de presión en el aire, pueden describirse a partir de la amplitud y la frecuencia. La amplitud de un estímulo sonoro puede especificarse en decibelios (dB), que comprime un amplio intervalo de presiones en un intervalo más pequeño y manejable. La curva de audibilidad y el área de respuesta auditiva indican el intervalo de frecuencias que se puede oír, así como los umbrales para oír a través del espectro de frecuencias. De esta manera, al igual que pasa con la vista, que sólo es posible la visión dentro de una estrecha banda de longitudes de onda (espectro visible), sólo es posible la audición en un intervalo específico de frecuencias denominado intervalo de audición. En el caso de los humanos, este intervalo oscila entre 20 y 20000 Hz (1 hertzio equivale a 1 ciclo por segundo). Además, somos más sensibles a ciertas frecuencias dentro de este intervalo de audición, las cuales son las comprendidas entre 2000 y 4000 Hz, debido a que son las correspondientes al habla de las personas.

Para convertir la presión sonora en decibelios se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Número de dB} = 20 \log p/p_0$$

donde dB son los decibelios,  $p$  es la presión sonora del estímulo y  $p_0$  es una presión sonora estándar que se establece por lo general en 20 micropascales ( $\mu\text{Pa}$ ), siendo un pascal (Pa) la unidad de presión. Esta presión estándar está cercana a la presión de un tono de 1000 Hz en el umbral, medido en un campo libre. Se puede utilizar la expresión anterior para calcular los decibelios para este tono de 1000 Hz y una presión de 200  $\mu\text{Pa}$  según se especifica a continuación:

$$\text{dB} = 20 \times \log p/p_0$$

$$\text{dB} = 20 \times \log 200/20$$

$$\text{dB} = 20 \times \log 10$$

$$dB = 20 \times 1 (\log 10 = 1)$$

$$dB = 20 \text{ dB NPS}$$

La adición de la notación NPS (nivel de presión sonora), indica que hemos utilizado la presión estándar de 20 micropascales como  $p_0$  en el cálculo.

Relación entre la presión sonora y los decibelios

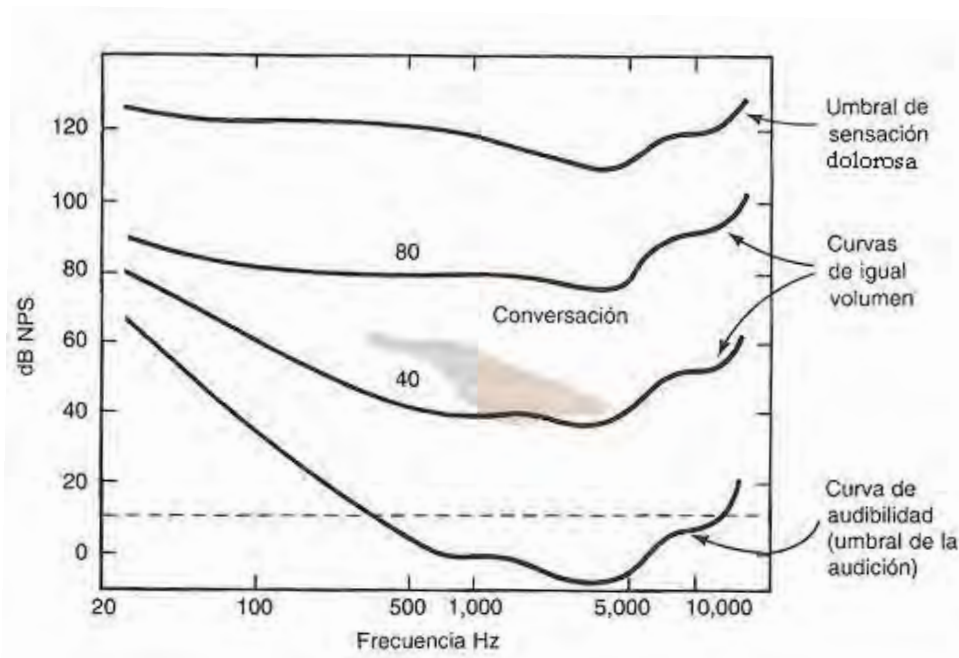
<b>RELACIÓN DE PRESIÓN (<math>p/p_0</math>)</b>	<b>dB NPS</b>
1	0
10	20
100	40
1000	60
10000	80
100000	100
1000000	120
10000000	140

Es posible crear un sonido complejo utilizando la síntesis aditiva, es decir, añadiendo varios tonos puros llamados armónicos. A la inversa, un sonido complejo puede descomponerse en varios componentes de onda sinusoidal utilizando el Análisis de Fourier.

Algunos niveles de presión sonora habituales

<b>RELACIÓN DE PRESIÓN (<math>p/p_0</math>)</b>	<b>dB NPS</b>
Sonido apenas audible (umbral)	0
Murmullo de las hojas	20
Urbanización residencial tranquila	40
Voz de conversación media	60
Música alta de la radio	80
Tráfico bullicioso	100
Tren expreso subterráneo	120
Avión propulsor al despegar	140
Motor a reacción al despegar (umbral doloroso)	160
Aterrizaje de nave espacial en un intervalo cercano	

La audición se produce entre la curva de audibilidad, el umbral de audición, y el umbral de sensación. Los tonos con NPS por debajo del umbral de audición no pueden oírse. Por su parte, los tonos con NPS por encima del umbral de sensación resultan dolorosos. Cuando el NPS se aproxima al umbral de sensación puede producirse una lesión en la cóclea. En la figura siguiente<sup>38</sup>: El área sombreada indica la frecuencia y el intervalo de intensidad del habla conversacional. Las curvas marcadas como 40 y 80 son curvas equisonoras. Los puntos en los que la línea discontinua de 10 dB. cruza la función de audibilidad indican el intervalo de frecuencias que puede oírse a 10 dB. NPS.



Curva de audibilidad y área de respuesta auditiva.

Sonoridad: La sonoridad está relacionada con el nivel de presión sonora, con un nivel de decibelios más alto asociado a una sonoridad más alta; pero la sonoridad también está relacionada con la frecuencia, como puede verse en la curva de audibilidad. Debido a la relación entre sonoridad y frecuencia, es preciso especificar la frecuencia de un tono puro para saber la sonoridad con la que se percibirá cuando se presenta a un cierto nivel de decibelios.

El tono y el timbre: El tono está relacionado con la frecuencia, con las frecuencias altas se asocian los tonos más agudos. Los sonidos separados por octavas tienen una cualidad de sonido similar, que recibe el nombre de *crominancia del tono*. El timbre es la diferencia en cuanto a las cualidades de unos sonidos que, con la misma sonoridad, tonalidad y duración, suenan diferentes.

---

<sup>38</sup> Fletcher y Munson, 1933.

### 7.6.3. LA PERCEPCIÓN DEL TONO

El sistema auditivo lleva a cabo un análisis de frecuencia del estímulo creando una vibración máxima de la membrana basilar y, por tanto, una activación máxima de la célula ciliada en un lugar concreto de la membrana en función de la frecuencia concreta. La teoría de la onda desplazante de Békésy describe la dependencia existente entre la membrana basilar y la frecuencia. Békésy propuso la teoría del lugar de la audición, que establece que la frecuencia de un sonido se indica mediante el lugar del órgano de Corti en el que la activación nerviosa es máxima. Así, la teoría del lugar establece que la frecuencia se indica mediante las fibras que se están activando.

Los mapas tonotópicos de la cóclea y las curvas de sintonización estrechas de las células ciliadas y las fibras del nervio auditivo apoyan la codificación del lugar para la frecuencia de Békésy.

La medición del efecto de los tonos de enmascaramiento que son las que cabría esperar basándose en la codificación del lugar para la frecuencia.

La cóclea funciona como si tuviera un banco de filtros, cada uno de los cuales procesa una estrecha banda de frecuencias. Las curvas de sintonización neuronal y las curvas de sintonización psicofísica indican las formas de estas fibras. La cóclea separa sonidos complejos en sus componentes de frecuencia, por lo que los diferentes componentes activan diferentes lugares de la membrana basilar.

Las células ciliadas externas son las células ciliadas más numerosas, pero no envían una respuesta eléctrica grande al nervio auditivo. La función de las células ciliadas externas parece ser agudizar la vibración de la membrana basilar a través de una respuesta motil, que empuja la membrana basilar y tira de ella.

La frecuencia también puede señalizarse mediante la temporización de la activación nerviosa, a través de un mecanismo denominado bloqueo de fase.

La corteza auditiva consta de una secuencia de áreas: el núcleo, que contiene el área receptora auditiva primaria (A1); el cortex auditivo secundario y el cortex de de asociación auditiva. A efectos de simplicidad distinguimos entre el cortex auditivo primario (núcleo) y el cortex auditivo no primario (secundario y de asociación).

Hay un mapa topológico en el cortex auditivo primario, puesto que frecuencias concretas provocan la activación de lugares concretos en el cortex. La información del bloqueo de fase por encima de 500 Hz se pierde en el momento en el que las señales auditivas alcanzan el cortex. El efecto del *fundamental ausente* indica que el tono de los sonidos complejos es el resultado del análisis a nivel del cortex.

#### 7.6.4. LOCALIZACIÓN AUDITIVA: UBICACIÓN DE SONIDOS SIMPLES EN EL ESPACIO

El sentido del oído no consiste únicamente en oír tonos puros o notas musicales, sino también en identificar las fuentes que generan los sonidos, conocer la ubicación de dichas fuentes y ser capaces de separar unos sonidos de otros en un entorno lleno de ruidos.

Aun existiendo una variabilidad esencial entre las capacidades de los individuos para localizar los sonidos, se puede extraer una media de varias mediciones. En un experimento<sup>39</sup> se midió la capacidad de diversos individuos para localizar los sonidos que se encontraban en diferentes posiciones del espacio. Los oyentes pueden localizar los sonidos que se encuentran justo delante de ellos de forma muy precisa (la media de errores de localización es de 2 a 3,5 grados), mientras que los sonidos que se encuentran a un lado o detrás de su cabeza se detectan con menor exactitud (los errores de localización alcanzan los 20 grados).

La localización auditiva se describe normalmente utilizando los tres sistemas de coordenadas siguientes:

- La coordenada de azimut u horizontal: Especifica los ubicaciones que varían de izquierda a derecha respecto al oyente.
- La coordenada de elevación o vertical: Especifica las ubicaciones que están arriba o abajo respecto del oyente.
- La coordenada de distancia: Especifica la distancia a la que se encuentra la fuente del sonido del oyente.

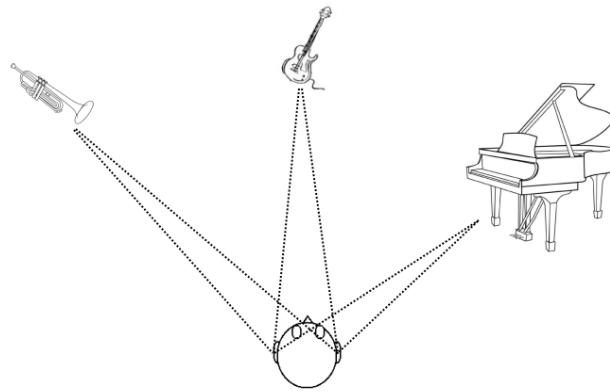
Información del azimut: La información que utiliza el sistema auditivo para determinar el azimut de un sonido se basa en las diferencias interaurales, que son las diferencias entre los estímulos que llegan a los oídos izquierdo y derecho. Las diferencias interaurales más importantes son la de tiempos y la de intensidades:

- Diferencia interaural de tiempos: Los sonidos procedentes de muchas ubicaciones del espacio llegan antes a un oído que al otro. Cuando la fuente del sonido se encuentra delante o detrás del observador, el sonido llega a la vez a ambos oídos; pero cuando la fuente se encuentra a uno de los lados, la diferencia puede llegar a ser de 600 microsegundos, debido a que tiene que rodear la cabeza para llegar al oído opuesto al de la fuente de sonido.

---

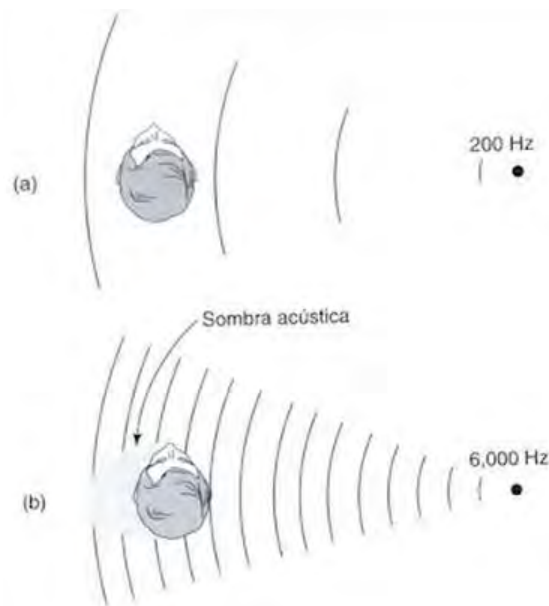
<sup>39</sup> Makous & Middlebrooks, 1990; Middlebrooks & Creen, 1991.





Principio de la diferencia interaural de tiempos.

- Diferencia interaural de intensidades: La intensidad en el nivel de presión sonora del sonido que llega a los dos oídos es diferente. Esto es debido a que la cabeza crea una sombra acústica que impide que los sonidos de alta frecuencia lleguen al oído lejano. Las bajas frecuencias no se ven afectadas.



Principio de la diferencia interaural de intensidades.

Información sobre la elevación: Esta información es proporcionada principalmente por las claves espectrales que dependen de la forma en la que la cabeza y la oreja reflejan las frecuencias del estímulo sonoro.

Claves espectrales: Antes de que el estímulo sonoro entre en el canal auditivo, éste se refleja de la cabeza hacia delante y hacia atrás a través de los diversos pliegues de las orejas. La diferencia entre el sonido de la fuente y el sonido que realmente llega a los oídos, recibe el nombre de "función de transferencia funcional" o DTF, esta función se midió mediante la colocación de micrófonos por los oídos de individuos o analizando y comparando las frecuencias salidas de la fuente y las que llegaban a los micrófonos.

La DTF ofrece información sobre la localización del sonido, porque la oreja y la cabeza

disminuyen la intensidad de algunas frecuencias y mejoran otras. Los patrones de frecuencias que llegan al oído desde diferentes localizaciones son las claves espectrales de la localización, y las personas utilizan esta información para localizar los sonidos que se encuentran en la coordenada de elevación de la línea media. Gardner y Gardner (1973) realizaron un experimento con el cual demostraron la importancia de la oreja en la localización del sonido. El experimento consistía en insertar compuestos moldeados en las orejas de los individuos y medir su capacidad para localizar los sonidos, a medida que las orejas estaban más lisas, los oyentes tenían más problemas para localizar los sonidos. También se puede demostrar cómo afectan las orejas a la localización de los sonidos si colocamos unos auriculares en ellas, la localización delante-detrás se ve mucho más afectada que la izquierda-derecha.

Información sobre la distancia: La distancia de los sonidos que se encuentran a una distancia equivalente a la longitud de un brazo puede estimarse con mucha mayor precisión que las que se encuentran a una distancia mayor. Ha habido muy pocas investigaciones sobre la forma en que las personas realizan juicios de distancia, aunque se han propuesto varias claves:

- Nivel sonoro: La presión sonora ofrece una clave de la distancia, aunque sólo con fuentes sonoras familiares, como la voz humana.
- Frecuencia: Los sonidos más alejados suenan más sordos o amortiguados que los **cercanos, debido a que las altas frecuencias son absorbidas por la atmósfera.**
- Paralelaje del movimiento: Los sonidos cercanos en movimiento cambian de posición, con respecto a nosotros, más rápidamente que los lejanos.
- Reflexión: Hay sonidos que llegan a los oídos directamente desde la fuente sonora y otros tras rebotar en superficies concretas como una pared, el suelo o la tierra. Cuanto más aumenta la distancia a la fuente, mayor es la cantidad de sonido indirecto.

El efecto de la precedencia: El efecto de la precedencia se produce cuando nuestra percepción de la ubicación de un sonido está determinada por el sonido que llega primero a nuestros oídos. Este efecto, que se produce con ciertos retrasos entre el sonido directo e indirecto, hace que percibamos los sonidos como si procedieran de su fuente original, aún cuando el sonido reflejado desde las superficies de una habitación llegue a nuestros oídos desde diversas direcciones.

El cortex auditivo es necesario para una localización precisa, pues la localización disminuye si éste se extirpa o sufre una lesión.

Los detectores de la diferencia interaural de tiempos están sintonizados para responder a valores específicos de DIT. Ha sido difícil encontrar neuronas sintonizadas para responder a pequeñas áreas del espacio, pero en el cortex auditivo no primario las neuronas

responden con distintos patrones de activación a las diferentes distancias, y hay neuronas que responden mejor a los sonidos localizados en un lugar concreto cerca de la cabeza.

#### 7.6.5. LA CUALIDAD DEL SONIDO: CÓMO SUENA UN ESTÍMULO

Describir la percepción de los sonidos a partir del tono (grave o agudo), el volumen (alto o bajo), la duración (largo o corto) o la ubicación (izquierda o derecha, cercano o lejano) no abarca por completo las enormes diferencias en las cualidades de los muchos sonidos que escuchamos.

Cualidad determinada por las características de la fuente de sonido:

Una de las cualidades determinadas por las características de la fuente de sonido, aparte del tono y el volumen, es el timbre; el timbre de un sonido está determinado por el número y los tamaños de sus armónicos (los tonos musicales complejos contienen una frecuencia fundamental, y los armónicos son múltiplos de dicha frecuencia fundamental) y el ataque (la formación del sonido al comenzar un tono) y el decaimiento (descenso de un sonido al finalizar un tono) del sonido.

Cualidad determinada por las características de la habitación, acústica arquitectónica:

La percepción del sonido también depende de la cantidad de sonido que llega a nuestros oídos de forma directa y de forma indirecta.

El factor más importante que afecta al sonido indirecto es la cantidad de sonido que absorben las paredes, el techo y el suelo de la habitación. A mayor sonido absorbido, menor sonido reflejado y por tanto menor sonido indirecto. Otros dos factores que afectan al sonido indirecto son el tamaño y la forma de la habitación, pues estos dos elementos determinan el modo en el que el sonido golpea las superficies y las direcciones en las que éste se refleja.

La cantidad y la duración del sonido indirecto producidos por una habitación se expresa como *tiempo de reverberación*, que es el tiempo en que tarda el sonido en descender 60 dB por debajo de su nivel original, 2,0 segundos sería lo ideal, puesto que más produciría eco y menos sonaría demasiado sordo.

Aparte del tiempo de reverberación, hay que tener en cuenta otros factores a la hora de diseñar un auditorio:

- Tiempo de intimidad: Tiempo entre el primer sonido directo y el primer reflejo.
- Relación de bajos: Relación entre las frecuencias medias y bajas que se reflejan en las paredes u otras superficies.
- Factor de amplitud: Fracción perteneciente al sonido indirecto de todos los sonidos recibidos por un oyente.

Los valores ideales son 2,0 segundos de tiempo de reverberación (1,5 segundos en las óperas, para escuchar mejor las voces), 20 milisegundos de tiempo de intimidad, relaciones altas entre bajos y una gran amplitud.

#### 7.6.6. ANÁLISIS DE LA ESCENA AUDITIVA: IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES SONORAS

El problema que plantea el análisis de la escena auditiva consiste en separar las diferentes fuentes sonoras de todos los sonidos que presentan simultáneamente en una escena auditiva. Se han identificado los siguientes principios de agrupamiento auditivo que ayudan a conseguir este análisis:

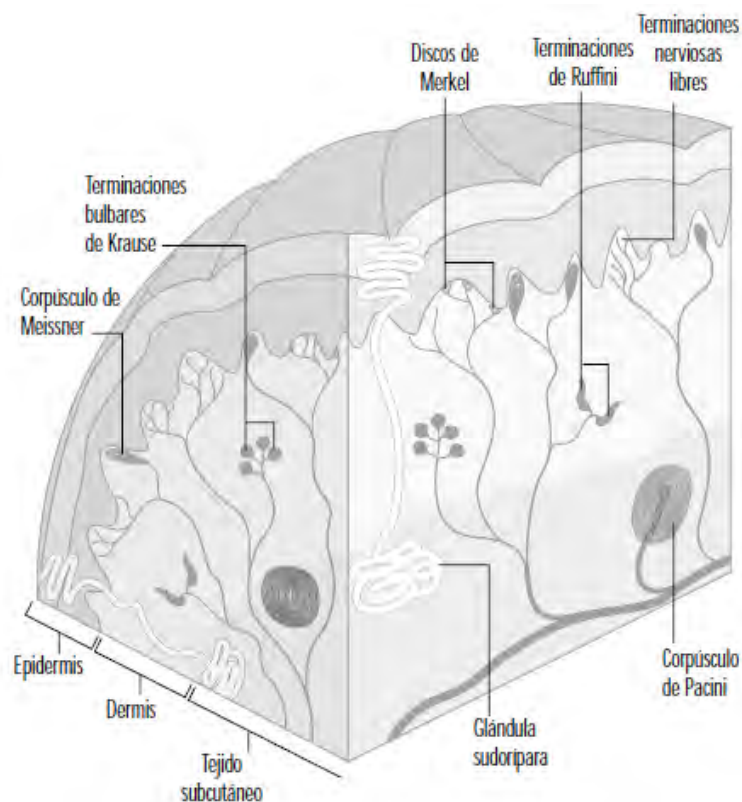
- Ubicación: Los sonidos creados por una fuentes concreta suelen proceder de una posición en el espacio o de una ubicación que cambia lentamente.
- Similitud del timbre: Los sonidos que tienen el mismo timbre están producidos generalmente por la misma fuente.
- Similitud del tono: Los sonidos con frecuencias similares están producidos a menudo por la misma fuente.
- Proximidad temporal: Los sonidos que se producen en una progresión rápida tienden a estar producidos por una misma fuente.
- Aparición y desaparición: Los sonidos que paran y empiezan en diferentes momentos tienden a estar producidos por distintas fuentes.
- Buena continuación: Los sonidos que permanecen constantes o cambian de forma suave están producidos generalmente por la misma fuente.
- Experiencia: Los sonidos conocidos son más fáciles de distinguir que aquellos que son desconocidos.

## 7.7. PERCEPCIÓN A TRAVÉS DE LOS SENTIDOS CUTÁNEOS

El tacto es esencial para llevar a cabo multitud de acciones y, además, desempeña una función protectora evidente, pues avisa de posibles daños en los tejidos. Esta función protectora, unida al papel que desempeña en áreas tan preciadas como el sexo, corrobora aún más la importancia que tiene para la supervivencia.

### 7.7.1. LA PIEL Y SUS RECEPTORES

La piel es el lugar en el que se experimentan las sensaciones cutáneas, además de su función de calentamiento, la piel también impide que se escapen los fluidos corporales y que penetren al organismo las bacterias, agentes químicos y polvo. La piel mantiene la integridad del interior y nos protege del exterior, pero también nos informa de los estímulos que entran en contacto con ella. Los rayos solares calientan la piel y sentimos su calor; los pinchazos nos duelen y, cuando alguien nos toca, experimentamos presión y otras sensaciones.

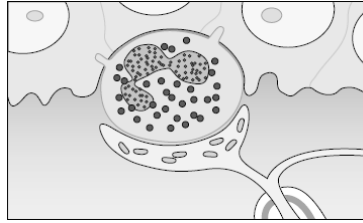


Corte transversal de la piel, sin vello, que muestra las capas de la piel y alguno de sus receptores.

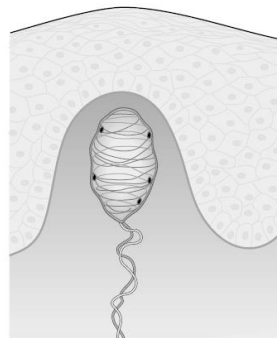
La principal experiencia con la piel se encuentra en la parte visible que, en realidad, constituye una capa de células muertas endurecidas. Esta capa de células muertas forma parte de la capa externa de la piel, que recibe el nombre de epidermis. Debajo de la epidermis se encuentra otra capa, la dermis. Además, en estas dos capas se encuentran los mecanorreceptores, o los receptores que responden a los estímulos mecánicos, tales

como la presión, el estiramiento y la vibración; los mecanorreceptores son cuatro:

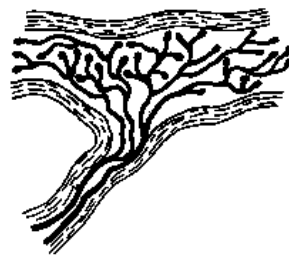
- El receptor de Merkel: Es una célula epitelial especializada, se observa unida a la membrana basal que separa la epidermis de la dermis.



- El corpúsculo de Meissner: Es una pila de células planas situadas en la dermis, justo debajo de la epidermis; una fibra nerviosa sigue su camino a través de estas células.



- Terminaciones de Ruffini: Es un conjunto de fibras de muchas ramas que se encuentran dentro de una cápsula cilíndrica.



- El corpúsculo de Pacini: Es una cápsula en capas, parecida a una cebolla, que rodea la fibra nerviosa.



Cada uno de estos receptores responde a un intervalo de frecuencias concreto y da lugar a percepciones determinadas.

RECEPTORES	INTERVALO DE FRECUENCIAS	PERCEPCIÓN
Merkel	De 0,3 a 3 Hz (empuje leve)	Presión
Meissner	De 3 a 40 Hz	Vibración
Ruffini	De 15 a 400 Hz	Estiramiento
Pacini	De 10 a 500 Hz (vibración muy rápida en el intervalo superior)	Vibración

También pueden ser de adaptación lenta (AL) o de adaptación rápida (AR) y tener campos receptivos pequeños o grandes.

Se sabe que los corpúsculos de Pacini son responsables de la adaptación rápida de las fibras AR2, puesto que, cuando se extirpan, las fibras empiezan a tener una adaptación lenta. Los experimentos de registro en los que se determinan gráficos de fenómenos espaciales indican que las fibras AL1 (receptor de Merkel) responden mejor a los detalles. Dichas fibras también son importantes para percibir la textura.

Los termorreceptores responden a temperaturas determinadas y a sus cambios. Hay termorreceptores para el calor y para el frío. Las propiedades de las fibras calientes son:

- Actúan como un termómetro, pues aumenta su activación cuando se aumenta la temperatura.
- Sigue activa mientras continúa la temperatura elevada.
- Disminuye su activación cuando baja la temperatura.
- No responde a la estimulación mecánica.
- Se activan en el intervalo de 20°C a 48°C, pero su mejor respuesta se encuentra en los 44°C.

Mientras que las propiedades de las fibras frías son:

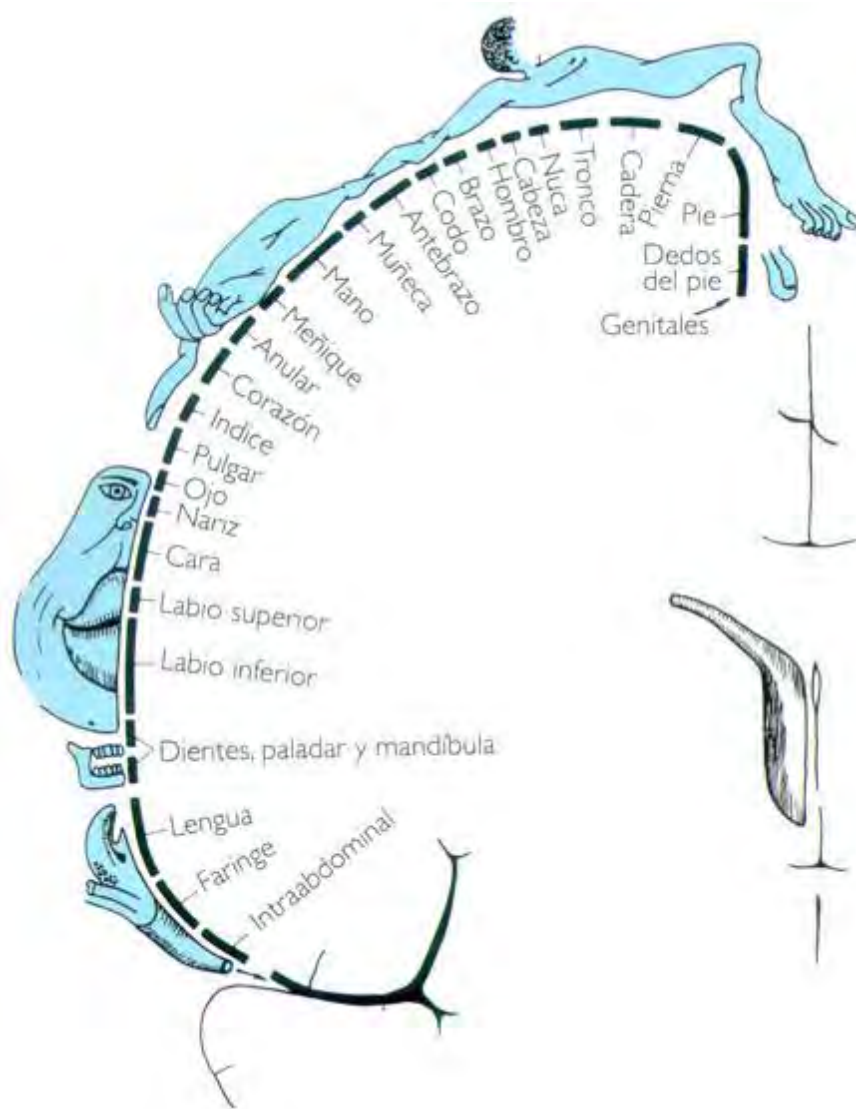
- Aumenta su activación cuando se desciende la temperatura.
- Sigue activa mientras continúa la temperatura baja.
- Disminuye su activación cuando sube la temperatura.
- No responde a la estimulación mecánica.
- Se activan en el intervalo de 20°C a 45°C, pero su mejor respuesta se encuentra en los 30°C.

## 7.7.2. PROCESAMIENTO NEURONAL DE LOS ESTÍMULOS TÁCTILES

La agudeza táctil varía en función de la parte del cuerpo de que se trate. Por ejemplo, el umbral de dos puntos es mucho menor en los dedos que en el resto de las partes del

cuerpo. Esta alta agudeza de los dedos se explica por el menor tamaño de los campos receptivos de las fibras AR1 y AL1, que presentan una distribución densa en áreas que tienen una alta agudeza, como es el caso de los dedos.

El homúnculo es un mapa del cuerpo en el cortex somatosensorial. Una de sus características es el aumento de las áreas que representan las zonas de alta agudeza de la piel, como son las yemas de los dedos. Las zonas de una agudeza alta tienen una mayor densidad de neuronas en el cortex y estas neuronas corticales tienen campos receptivos más pequeños. Hay múltiples mapas del cuerpo en el cortex, que se disponen en columnas, de manera similar a como ocurre con el sistema visual.



Homúnculo sensorial en el cortex somatosensorial. Las partes del cuerpo con mayor agudeza táctil están representadas en áreas más grandes del cortex.

Hay neuronas en el sistema táctil que tienen propiedades similares a las neuronas del sistema visual. Las neuronas del tálamo tienen campos receptivos centro-periferia, y hay neuronas en el cortex que responden mejor a los estímulos más especializados, como los bordes orientados y el movimiento en una dirección concreta.



### 7.7.3. RECONOCIMIENTO TÁCTIL DE LOS OBJETOS

En el tacto pasivo, el sujeto que percibe es pasivo y la estimulación la aplica otra persona. En el tacto activo, el primero controla el estímulo. El tacto activo implica la actuación de los sistemas sensorial, motor y cognitivo, que se combinan para crear una experiencia perceptiva diferente a la experiencia causada por el tacto pasivo. La exploración háptica es un aspecto del tacto activo en el que una persona identifica objetos tridimensionales palpándolos con las manos y dedos, que reciben el nombre de procedimientos de exploración.

El conjunto de respuestas de los mecanorreceptores ofrece información sobre las características de los objetos, como su curvatura, que se transmite al cerebro. Hay neuronas corticales que responden únicamente cuando un mono agarra un objeto concreto, como una esfera o un borde recto. El reconocimiento táctil de los objetos también desencadena actividad en las neuronas de otras áreas parietales, en el lóbulo frontal y, en el caso de las neuronas implicadas en agarrar objetos, el cortex motor. Los estudios con imágenes cerebrales indican además que la identificación de objetos también desencadena cierta actividad en el cortex visual.

El mapa del cortex somatosensorial que representa el cuerpo puede cambiar con la experiencia. Si se impide que el estímulo llegue al cortex desde cualquier parte del cuerpo, se produce una disminución en el área dedicada a dicha parte del cuerpo. La estimulación extra de la yema de un dedo aumenta el área del cortex que representa el dedo. El área del cortex somatosensorial humano dedicada a los dedos es mayor de lo normal en músicos que tocan instrumentos de cuerda.

### 7.7.4. LA PERCEPCIÓN DEL DOLOR

Desde el punto de vista periférico, el dolor es el resultado de la estimulación de los nociceptores. Centralmente, hay varias estructuras asociadas al dolor, algunas de las cuales están relacionadas con el componente sensorial del dolor (S1 y S2), mientras que otras lo están con su componente emocional (cortex cingulado anterior).

Se ha demostrado una correspondencia entre la experiencia del dolor y la activación de los nociceptores por un lado y la activación de neuronas corticales por otro lado.



## 8. ERGONOMÍA

### 8.1. INTRODUCCIÓN

La Ergonomía ha cobrado una importante relevancia en los últimos tiempos. Incluso, sirviendo de reclamo comercial para muchos productos. La razón fundamental que explica este fenómeno es la superación de la dicotomía clásica de adaptar la persona al puesto o el puesto a la persona; incluso la influencia de la concepción de una organización como un sistema en el que se deja de hablar de productividad para hacerlo de efectividad y en esta concepción se incluyen criterios de optimización de la seguridad, la comodidad, el rendimiento o la satisfacción. Sin embargo, todo ello por sí solo no explicaría el auge de la ergonomía. Es necesario por tanto, hacer alusión a conceptos más sociales como la *Cultura del Bienestar*, la cual lleva implícita unas concepciones ante el mundo, en general, y el trabajo, en particular, que hacen adentrarse y prosperar filosofías intrínsecamente unidas a la concepción de la Ergonomía.

El término *Ergonomía* proviene de las palabras griegas *ergos* (ἐργον), trabajo y *gnomos* (νόμος), ley o norma. La primera referencia a la ergonomía aparece en el libro del polaco Wojciech Jastrzebowski (1857) titulado *Compendio de Ergonomía o de la ciencia del trabajo basada en verdades tomadas de la naturaleza*. Aunque la utilización moderna del término se debe a Murrell y ha sido adoptado oficialmente según la creación, en 1949, de la primera sociedad de ergonomía, la *Ergonomics Research Society*, fundada por ingenieros, psicólogos y fisiólogos británicos con el fin de *adaptar el trabajo al hombre*.

Se puede reflejar un amplio abanico de definiciones, entre las que cabe citar:

- Murrell (1971): La Ergonomía es el estudio del ser humano en su ambiente laboral.
- McCormick (1980): La Ergonomía relaciona las variables de diseño por una parte y los criterios de eficacia funcional o bienestar del ser humano por la otra.
- Cazamian (1986): La Ergonomía es el estudio multidisciplinar del trabajo humano que pretende descubrir sus leyes para formular mejor sus reglas.
- Pheasant (1988): La Ergonomía es la aplicación científica que relaciona a los seres humanos con los problemas del proyecto tratando de acomodar el lugar de trabajo al sujeto y el producto al consumidor.
- Pereda (1993): La Ergonomía estudia cómo las personas, las máquinas y el ambiente se comunican e interactúan entre sí para, actuando sobre todos o algunos de sus elementos, llegar a optimizar los criterios de eficacia, seguridad, comodidad y satisfacción.
- International Ergonomics Association (IEA): La Ergonomía es la disciplina científica que busca entender las interacciones entre el hombre y los elementos de un sistema, y la profesión que aplica teorías, principios, datos, y métodos para el



diseño con el fin de optimizar el bienestar humano y el rendimiento global del sistema.

La ergonomía se encarga de una enorme variedad de campos de aplicación, lo cual podría llevarnos a hablar de varios tipos de disciplinas, pero que todas ellas tienen un denominador común; servir al hombre desde el diseño, la adecuación, la corrección o la reclamación de lo comprendido en el marco socio técnico de la actividad humana. Estos campos de actuación pueden ser agrupados en los siguientes criterios:

- Ergonomía de la prevención de riesgos laborales.
- Ergonomía cognitiva.
- Ergonomía ambiental.
- Ergonomía judicial.
- Gerencia y ergonomía.
- Ergonomía y diseño industrial.

## 8.2. NATURALEZA Y OBJETIVOS DE LA ERGONOMÍA

### 8.2.1. DEFINICIÓN Y CAMPO DE ACTIVIDAD

La ergonomía engloba el estudio y la medida del trabajo. En este contexto, el término trabajo significa una actividad humana con un propósito; va más allá del concepto más limitado del trabajo como una actividad para obtener un beneficio económico, al incluir todas las actividades en las que el operador humano sistemáticamente persigue un objetivo. Así, abarca los deportes y otras actividades del tiempo libre, las labores domésticas, como el cuidado de los niños o las labores del hogar, la educación y la formación, los servicios sociales y de salud, el control de los sistemas de ingeniería o la adaptación de los mismos, como sucede, por ejemplo, con un pasajero en un vehículo.

El operador humano, que es el centro del estudio, puede ser un profesional cualificado que maneje una máquina compleja en un entorno artificial, un cliente que haya comprado casualmente un aparato nuevo para su uso personal, un niño dentro del aula o una persona con una discapacidad, recluida a una silla de ruedas. El ser humano es sumamente adaptable, pero su capacidad de adaptación no es infinita. Existen intervalos de condiciones óptimas para cualquier actividad. Una de las labores de la ergonomía consiste en definir cuáles son estos intervalos y explorar los efectos no deseados que se producirán en caso de superar los límites; por ejemplo, qué sucede si una persona desarrolla su trabajo en condiciones de calor, ruido o vibraciones excesivas, o si la carga física o mental de trabajo es demasiado elevada o demasiado reducida.

La ergonomía examina no sólo la situación pasiva del ambiente, sino también las ventajas para el operador humano y las aportaciones que éste pueda hacer si la situación de trabajo está concebida para permitir y fomentar el mejor uso de sus habilidades. Las habilidades humanas pueden caracterizarse no sólo en relación al operador humano genético, sino también en relación a habilidades más específicas, necesarias en situaciones determinadas, en las que resulta crucial un alto rendimiento. Por ejemplo, un fabricante de automóviles deberá tener en cuenta el tamaño y la fuerza física de los posibles conductores de un determinado modelo para garantizar que los asientos sean cómodos; que los controles se identifiquen con facilidad y estén accesibles; que la visibilidad, tanto delantera como trasera, sea buena y que los indicadores interiores sean fáciles de leer. También deberá considerar la facilidad para entrar y salir del coche. En cambio, el diseñador de un coche de carreras considerará que el conductor tiene una constitución atlética, por lo que la facilidad para entrar o salir del vehículo, por ejemplo, no será tan importante e intentará ajustar todo el diseño del vehículo al tamaño y preferencias de un conductor determinado, para asegurar que éste pueda desarrollar todo su potencial y habilidad como conductor o conductora.



En cualquier situación, actividad o tarea, lo más importante es la persona o personas implicadas. Se supone que la estructura, la ingeniería y otros aspectos tecnológicos están ahí para servir al operador, y no al contrario.

### 8.2.2. HISTORIA Y ESTADO

Hace aproximadamente un siglo, se reconoció que las jornadas y condiciones de trabajo en algunas minas y fábricas eran intolerables, en términos de salud y seguridad, y que era indispensable aprobar leyes que establecieran límites admisibles en estos aspectos. El establecimiento y determinación de esos límites puede considerarse como el comienzo de la ergonomía. Este fue, además, el principio de todas las actividades que ahora encuentran un medio de expresión a través del trabajo de la Organización Internacional del Trabajo (OIT).

El proceso de investigación, desarrollo y aplicación de estas leyes fue lento hasta la segunda Guerra Mundial. Este acontecimiento aceleró enormemente el desarrollo de máquinas e instrumentos tales como vehículos, aviones, tanques y armas, y mejoró sensiblemente los dispositivos de navegación y detección. Los avances tecnológicos proporcionaron una mayor flexibilidad para permitir la adaptación al operador, una adaptación que se hizo cada vez más necesaria, porque el rendimiento humano limitaba el rendimiento del sistema. Si un vehículo motorizado sólo puede alcanzar una velocidad de algunos kilómetros por hora, no hay por qué preocuparse del rendimiento del conductor, pero si la velocidad máxima del vehículo se multiplica por diez o por cien, entonces el conductor tiene que reaccionar con más rapidez y no tiene tiempo para corregir errores y evitar desastres. De forma parecida, a medida que mejora la tecnología disminuye la necesidad de preocuparse por los fallos mecánicos o eléctricos, por ejemplo, y se puede centrar la atención en las necesidades del conductor.

De este modo, la ergonomía, como adaptación de la tecnología de la ingeniería a las necesidades del trabajador, es cada vez más necesaria y más factible, gracias a los avances tecnológicos.

El término ergonomía empezó a utilizarse alrededor de 1950, cuando las prioridades de la industria en desarrollo comenzaron a anteponerse a las prioridades de la industria militar. Singleton (1982) describe detalladamente el desarrollo de la investigación y sus aplicaciones, a lo largo de los 30 años siguientes. Algunas organizaciones de las Naciones Unidas, en especial la OIT y la OMS, comenzaron su actividad en este campo en el decenio de 1960.

El principal objetivo de la industria inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial, al igual que el de la ergonomía, era el aumento de la productividad. Este era un objetivo viable para la ergonomía, ya que gran parte de la productividad industrial estaba

determinada directamente por el esfuerzo físico de los trabajadores: la velocidad del montaje y la proporción de movimientos y levantamientos de pesos determinaban la magnitud de la producción. Gradualmente, la energía mecánica sustituyó al esfuerzo muscular humano. Sin embargo, el aumento de la energía también produce más accidentes, por el sencillo principio de que los accidentes son la consecuencia directa de la aplicación de la energía en el momento erróneo y en el lugar equivocado. Cuando las cosas se producen con mayor rapidez, las posibilidades de accidentes aumentan. Así, la preocupación de la industria y el objetivo de la ergonomía comenzó a cambiar, poco a poco, de la productividad a la seguridad; esto ocurrió entre los años 60 y principios de los 70. Durante este tiempo, gran parte del sector de fabricación cambió de la producción por lotes a la producción en cadena y en proceso y, como consecuencia, la función del operador también cambió de la participación directa a las labores de control e inspección. Esto disminuyó la frecuencia de los accidentes, al alejar al operador de la escena de acción, pero en ocasiones, aumentó la gravedad de los accidentes debido a la velocidad y energía inherentes al proceso.

Cuando la producción está determinada por la velocidad de funcionamiento de las máquinas, la actividad se reduce a mantener el sistema en marcha; es decir, el objetivo es la fiabilidad. El operador se convierte en un controlador, un mecánico y un encargado de mantenimiento, en lugar de ser un manipulador directo.

Aunque esta descripción histórica de los cambios en las industrias de fabricación durante la posguerra podría sugerir que el ergónomo ha ignorado sistemáticamente una serie de problemas y ha intentado solucionar otros, esto no ha sido así, por distintos motivos. El campo de la ergonomía abarca mucho más que el de las industrias de fabricación. Además de la ergonomía de la producción está la ergonomía del producto o del diseño, es decir, la adaptación de la máquina o el producto al usuario. En la industria automovilística, por ejemplo, la ergonomía es importante no sólo en la fabricación de piezas y en las líneas de producción, sino también en relación con el futuro conductor, pasajero y encargado de mantenimiento. Actualmente, la revisión de la calidad de la ergonomía de los vehículos: la conducción, la comodidad de los asientos, el manejo, los niveles de ruido y vibración, la facilidad de acceso a los controles, la visibilidad interior y exterior... es algo frecuente en el marketing de los coches y en la valoración crítica de los mismos por terceros.

El rendimiento humano generalmente se optimiza dentro de un intervalo de tolerancias de una variable relevante. La mayoría de los primeros ergónomos intentaban reducir el esfuerzo muscular realizado y la amplitud y diversidad de los movimientos al objeto de que no se superaran los límites tolerables. Los grandes cambios en el mundo laboral y la llegada del ordenador, han ocasionado el problema contrario. El espacio de trabajo con un ordenador, a menos que esté bien diseñado desde el punto de vista ergonómico, puede ocasionar una postura demasiado fija, falta de movimientos del cuerpo y una repetición

excesiva de ciertos movimientos articulares.

Esta breve revisión histórica pretende mostrar que, aunque el desarrollo de la ergonomía ha sido continuo, los problemas han ido aumentando cada día más antes de que se lograra solucionar los existentes. Sin embargo, los conocimientos aumentan y cada vez son más fiables y válidos; los principios del consumo energético no dependen de cómo o porqué se consume la energía; las consecuencias de las posturas son las mismas para los asientos en un avión que frente a un ordenador; una parte importante de la actividad humana se realiza en la actualidad, frente a pantallas de visualización y existen principios bien establecidos, basados en pruebas de laboratorio y estudios de campo.

### 8.2.3. ERGONOMÍA Y DISCIPLINAS AFINES

El desarrollo de una técnica con bases científicas, que está en un punto intermedio entre las bien consolidadas tecnologías de la ingeniería y la medicina, se superpone inevitablemente con otras disciplinas. En términos de su base científica, gran parte del conocimiento ergonómico deriva de las ciencias humanas: anatomía, fisiología y psicología. Las ciencias físicas también han contribuido, por ejemplo, la solución de problemas de la iluminación, de la temperatura, del ruido o de las vibraciones.

La mayor parte de los pioneros de la ergonomía en Europa trabajaron en las ciencias humanas, motivo por el que la ergonomía está en un punto de equilibrio entre la fisiología y la psicología. Un enfoque fisiológico es necesario para abordar problemas tales como el consumo de energía, las posturas y aplicación de fuerzas, como en el levantamiento de pesos. Un enfoque psicológico permite estudiar problemas tales como la presentación de la información y el grado de satisfacción en el trabajo. Naturalmente, existen muchos problemas, como el estrés, la fatiga y el trabajo por turnos, que requieren un enfoque mixto de las ciencias humanas.

Muchos de los pioneros de este campo en EE.UU. trabajaban en el terreno de la psicología experimental o de la ingeniería y por esta razón sus denominaciones *ingeniería humana* o *factores humanos*, reflejan una diferencia en el enfoque, aunque no en los contenidos de interés, con los ergónomos europeos. Esto explica también por qué la higiene industrial, debido a su estrecha relación con la medicina, principalmente con la medicina del trabajo, se considera en Estados Unidos como algo distinto de los factores humanos o la ergonomía. Esta diferencia es menos evidente en otras partes del mundo. La ergonomía se centra en el operador humano en acción; la higiene industrial se centra en el riesgo de un determinado ambiente para el operador humano. Así, el interés central de un higienista industrial es el riesgo tóxico, algo que está fuera del ámbito del ergónomo. El higienista industrial se preocupa por los efectos sobre la salud, a corto o a largo plazo; el ergónomo, naturalmente, se preocupa por la salud, pero también por otras consecuencias, como la productividad, el diseño del trabajo o del espacio de trabajo. La seguridad y la higiene son





aspectos generales que atañen tanto a la ergonomía como a la higiene industrial, a la salud laboral y a la medicina del trabajo. Por tanto, no es sorprendente que en las grandes instituciones de investigación, diseño o producción, estos temas aparezcan agrupados. Ello permite que un grupo de expertos en cada uno de estos temas contribuyan de forma especializada al problema general de la salud, no sólo de los trabajadores de la institución, sino también de aquellos que resultan afectados por sus actividades y productos. En instituciones dedicadas al diseño o a la prestación de servicios, el ergónomo deberá estar más estrechamente relacionado con los ingenieros y otros técnicos.

#### 8.2.4. OBJETIVOS DE LA ERGONOMÍA

Es evidente que las ventajas de la ergonomía pueden reflejarse de muchas formas distintas: en la productividad y en la calidad, en la seguridad y la salud, en la fiabilidad, en la satisfacción con el trabajo y en el desarrollo personal.

Este amplio campo de acción se debe a que el objetivo básico de la ergonomía es conseguir la eficiencia en cualquier actividad realizada con un propósito, eficiencia en el sentido más amplio, de lograr el resultado deseado sin desperdiciar recursos, sin errores y sin daños en la persona involucrada o en los demás. No es eficaz desperdiciar energía o tiempo debido a un mal diseño del trabajo, del espacio de trabajo, del ambiente o de las condiciones de trabajo. Tampoco lo es obtener los resultados deseados a pesar del mal diseño del puesto, en lugar de obtenerlos con el apoyo de un buen diseño.

El objetivo de la ergonomía es garantizar que el entorno de trabajo esté en armonía con las actividades que realiza el trabajador. Este objetivo es válido en sí mismo, pero su consecución no es fácil por una serie de razones. El operador humano es flexible y adaptable y aprende continuamente, pero las diferencias individuales pueden ser muy grandes. Algunas diferencias, tales como las de constitución física y fuerza, son evidentes, pero hay otras, como las diferencias culturales, de estilo o de habilidades que son más difíciles de identificar.

En vista de lo complejo de la situación, podría parecer que la solución es proporcionar un entorno flexible, en el que el operador humano pueda optimizar una forma específicamente adecuada de hacer las cosas. Desgraciadamente, este enfoque no siempre se puede llevar a la práctica, ya que la forma más eficiente no siempre resulta obvia y, en consecuencia, el trabajador puede seguir haciendo una cosa durante años de forma inadecuada o en condiciones inaceptables.

Así, es necesario adoptar un enfoque sistemático: partir de una teoría bien fundamentada, establecer objetivos cuantificables y contrastar los resultados con los objetivos. Los distintos objetivos posibles se detallan a continuación:

- Salud y seguridad: No cabe duda de que existen objetivos relacionados con la salud

y la seguridad, pero la dificultad surge del hecho de que ninguno de estos conceptos se puede medir directamente. Sus logros se valoran por su ausencia más que por su presencia. Los datos en cuestión siempre están relacionados con aspectos derivados de la salud y la seguridad.

En el caso de la salud, la mayor parte de las evidencias se basan en estudios a largo plazo, en poblaciones y no en casos individuales. Por lo tanto, es necesario mantener registros detallados durante largos períodos de tiempo para poder adoptar un enfoque epidemiológico a través del cual puedan identificarse y cuantificarse los factores de riesgo. Por ejemplo, ¿cuál debería ser el máximo de horas al día o al año que debe permanecer un trabajador en un puesto con un ordenador? Dependerá del diseño del puesto, del tipo de trabajo y del tipo de persona (edad, capacidad visual, habilidades...). Los efectos sobre la salud pueden ser muy diversos, desde problemas en las muñecas hasta fatiga mental, por ello es necesario realizar estudios globales que cubran poblaciones amplias y estudiar, al mismo tiempo, las diferencias entre unas poblaciones y otras.

La seguridad es más directamente medible en sentido negativo, en términos de tipos y frecuencias de los accidentes y lesiones. Resulta complicado definir los distintos tipos de accidentes e identificar los múltiples factores causales y, con frecuencia, no hay una buena correlación entre el tipo de accidente y el grado de daño producido, de ninguno a fatal.

Sin embargo, durante los últimos cincuenta años se ha acumulado una gran cantidad de datos relacionados con la salud y la seguridad, y se han descubierto consecuencias que pueden ser relacionadas con teorías, leyes y normas y con principios operativos en determinados tipos de situaciones.

- **Productividad y eficacia:** La productividad suele definirse en términos de producción por unidad de tiempo, mientras que la eficacia incorpora otras variables, en particular la relación resultado-inversión. La eficacia incorpora el coste de lo que se ha hecho en relación con los logros, y en términos humanos, esto implica la consideración de los costes para el operador humano.

En la industria, la productividad es relativamente fácil de medir: la cantidad producida puede contarse y el tiempo invertido en producir es fácil de determinar. Los datos sobre productividad suelen utilizarse en comparaciones del tipo antes/después de la modificación de métodos, situaciones o condiciones de trabajo. Esto implica asumir una serie de suposiciones, como la equivalencia entre el esfuerzo y otros costes, porque se basa en el principio de que el operador humano rendirá tanto como lo permitan las circunstancias. Si la productividad aumenta, esto significa que las circunstancias son mejores. Hay muchas razones para recomendar este sencillo enfoque, a condición de que se utilice teniendo en cuenta los posibles factores de confusión que pueden enmascarar lo que está ocurriendo realmente. La

mejor garantía de ello es intentar asegurarse de que nada ha cambiado entre la situación anterior y la posterior, con excepción de los aspectos que se están estudiando.

La eficacia es la medida más global, pero también la más difícil de determinar. Por lo general, debe definirse específicamente para cada situación particular, y en la valoración de los resultados de cualquier estudio deberá comprobarse que la definición es relevante y válida para las conclusiones obtenidas. Por ejemplo, ¿montar en bicicleta, es más eficaz que andar? Montar en bicicleta es más productivo en términos de la distancia que es posible recorrer en un tiempo determinado, y más eficaz en términos de la energía consumida por unidad de distancia o, si se trata de un ejercicio realizado dentro de casa, porque la bicicleta es más sencilla y económica que otro tipo de aparatos. Por otra parte, la finalidad del ejercicio podría ser el consumo de energía por motivos de salud, o la subida de una montaña en un terreno difícil; en estas circunstancias, caminar será más eficaz. Así, la medida de la eficacia sólo tiene sentido en un contexto bien definido.

- **Fiabilidad y calidad:** En los sistemas de alta tecnología como por ejemplo, transporte aéreo de pasajeros, refinerías de crudo o plantas de generación de energía, la medida clave es la fiabilidad, más que la productividad. Los controladores de dichos sistemas vigilan el rendimiento y contribuyen a la productividad y a la seguridad haciendo los ajustes precisos para garantizar que las máquinas automáticas están conectadas y funcionan dentro de sus límites. Todos estos sistemas se encuentran en un estado de máxima seguridad cuando están inactivos, o cuando funcionan dentro de las condiciones de funcionamiento proyectadas; son más peligrosos cuando se mueven entre estados de equilibrio, por ejemplo, durante el despegue de un avión o cuando se está deteniendo un sistema de proceso. Una alta fiabilidad es una característica clave no sólo por motivos de seguridad, sino también porque una interrupción o parada no planificada resulta extremadamente costosa. La fiabilidad es fácil de medir después de obtenido el resultado, pero es muy difícil de predecir, a menos que se haga por referencia a resultados anteriores de sistemas similares. Cuando algo va mal, el error humano es invariablemente una causa que contribuye, pero no siempre significa que se trate de un error del controlador. Los errores humanos pueden originarse en la fase de diseño y durante la puesta en marcha y el mantenimiento. Actualmente se acepta que estos sistemas de alta tecnología, tan complejos, requieren un estudio ergonómico considerable y continuo desde el diseño hasta la valoración de cualquiera de los fallos que puedan producirse.

La calidad está en relación con la fiabilidad, pero es muy difícil, si no imposible, de medir. Tradicionalmente, en los sistemas de producción en cadena y por lotes, la calidad se controlaba inspeccionando el producto terminado, pero en la actualidad

se combinan la producción y el mantenimiento de la calidad. Así, cada operador tiene una responsabilidad paralela, como inspector. Esto suele resultar más efectivo, pero puede significar el abandono de la política de incentivos basada simplemente en las tasas de producción. En términos ergonómicos, lo normal es tratar al operador como una persona responsable y no como un robot programado para una actividad repetitiva.

- Satisfacción en el trabajo y desarrollo personal: Si se parte del principio de que el trabajador u operador humano debe ser tratado como una persona y no como un robot, se desprende que deberían valorarse sus responsabilidades, actitudes, creencias y valores. Esto no es nada fácil, ya que hay muchas variables en juego, en su mayoría detectables pero no cuantificables, y enormes diferencias individuales y culturales. Sin embargo, gran parte del esfuerzo se concentra actualmente en el diseño y la organización del trabajo, con el fin de asegurar que la situación sea lo más satisfactoria posible, desde el punto de vista del operador. Es posible realizar algunas mediciones utilizando técnicas de encuesta y se dispone de algunos criterios basados en ciertas características del trabajo, como la autonomía y el grado de responsabilidad. Estos esfuerzos requieren tiempo y dinero, pero pueden obtenerse considerables beneficios si se escuchan las sugerencias, opiniones y actitudes de las personas que están realizando el trabajo. Su enfoque puede no ser el mismo que el del *diseñador* externo del trabajo, y puede no coincidir con los supuestos del organizador o planificador del trabajo. Estas diferencias de opinión son importantes y pueden llegar a producir un cambio positivo en la estrategia, por parte de todos los implicados.

No hay duda de que el ser humano aprende continuamente si está rodeado de las condiciones adecuadas. La clave es proporcionarle información sobre la actuación pasada y presente, que podrá utilizar para mejorar la actuación futura. Más aún, tal información actuará como un incentivo del rendimiento. De esta forma todo el mundo gana: la persona que ejecuta el trabajo y los responsables, en un sentido más amplio, de esta ejecución. De esto puede concluirse que hay mucho que ganar con una mejora en la ejecución del trabajo, inclusive para el desarrollo personal. El principio de que el desarrollo personal debe ser un aspecto en la aplicación de la ergonomía, requiere mayores habilidades por parte del diseñador y del organizador, pero si se logran aplicar adecuadamente, mejorarán todos los aspectos de la actuación humana antes mencionados.

Con frecuencia, aplicar con éxito la ergonomía sólo consiste en desarrollar la actitud o el punto de vista idóneos. Las personas son, inevitablemente, el factor central de cualquier esfuerzo humano, y por tanto, es inherentemente importante considerar sistemáticamente sus méritos, limitaciones, necesidades y aspiraciones.

La ergonomía es el estudio sistemático de las personas en su entorno de trabajo con el fin



de mejorar su situación laboral, sus condiciones de trabajo y las tareas que realizan. El objetivo es adquirir datos relevantes y fiables que sirvan de base para recomendar cambios en situaciones específicas y para desarrollar teorías, conceptos, directrices y procedimientos más generales que contribuyan a un continuo desarrollo de los conocimientos en el campo de la ergonomía.

## 8.3. CLASIFICACION Y AMBITO DE APLICACION DE LA ERGONOMIA

Existen diferentes formas de clasificar la ergonomía según atendamos al objeto u objetivo al que se aluda para su clasificación. En función de esto, se puede diferenciar como mínimo tres clasificaciones distintas:

- Clasificación según el objetivo de la intervención:
  - Ergonomía Preventiva: También se denomina Ergonomía de la Concepción o Ergonomía del Diseño. Se aplica cuando el sistema estudiado no existe en la realidad, es un estado de proyecto en el que se toman las medidas oportunas para que las condiciones de trabajo sean las más adecuadas a las características de los individuos. Su carácter es eminentemente preventivo ante ciertos riesgos o incomodidades.
  - Ergonomía Correctiva: También se denomina Ergonomía Interventiva. Actúa sobre problemas concretos que surgen en el curso del proceso de trabajo.
- Clasificación según el enfoque de aplicación:
  - Microergonomía: Diseño de los puestos de trabajo con los diferentes factores que los componen.
  - Macroergonomía: Diseño del sistema global de la organización. Comienza con la definición de los objetivos globales del sistema total de la organización, para continuar con la definición de funciones y objetivos de cada uno de los sistemas y subsistemas y, posteriormente, la especificación de los objetivos de cada uno de los trabajos con un correcto diseño de los puestos adaptados al trabajador.
- Clasificación según el ámbito de aplicación:
  - Psicológico: Da lugar a la Ergonomía Psicosocial y a la Ergonomía Cognitiva, que analizan la interrelación entre el hombre y la máquina desde el punto de vista de la capacidad de reacción sensorial y psicológica del individuo; en este sentido, se estudian las características de los mecanismos input/output del sistema hombre/máquina.
  - Físico: Da lugar a la Ergonomía del lugar de trabajo, en la que se analizan los requerimientos físicos que debe cumplir el lugar de trabajo para adaptarse al individuo. Este tipo de Ergonomía se subdivide en:
    - Ergonomía Ambiental: Estudia las relaciones entre el hombre y los factores ambientales, analizando la incidencia de éstos sobre su estado de salud y confort. Los factores más importantes son físicos (iluminación, temperatura, vibración y ruido), químicos y biológicos.



- Ergonomía Geométrica: Estudia las relaciones existentes entre el hombre y las dimensiones y características posicionales del lugar de trabajo, buscando su adecuación óptima, tanto a un nivel estático o posicional del individuo como a un nivel cinético operacional.
- Ergonomía Temporal: Estudia la relación entre el tiempo y la salud y el confort, tanto desde un aspecto físico como psicológico. Analiza los horarios de trabajo, la duración de las jornadas, los ritmos, la organización de **las pausas...**

## 8.4. ERGONOMÍA AMBIENTAL

La Ergonomía Ambiental se encuentra dentro de la clasificación de la Ergonomía según el Ámbito de Aplicación, en el plano Físico, en el cuál se analizan los requerimientos físicos que debe cumplir el lugar de trabajo para adaptarse al individuo. La Ergonomía Ambiental, como ya se ha dicho con anterioridad, estudia las relaciones entre el hombre y los factores ambientales, analizando la incidencia de éstos sobre su estado de salud y confort. Los factores más importantes son físicos (iluminación, temperatura, vibración y ruido), químicos y biológicos.

### 8.4.1. FACTORES FÍSICOS

#### 8.4.1.1. ILUMINACIÓN

La visión supone el 80% de nuestra percepción sensorial, así pues, la luz es el tipo de energía, de los que dispone el hombre, más importante, ya que sin luz, no podemos ver.

El bienestar físico y psicológico de una persona depende en cierta medida del confort visual, así como su productividad y su rendimiento.

Cualquier proyecto de iluminación de un puesto de trabajo debe partir de qué función se va a realizar en dicho puesto. En el caso que nos ocupa, la conducción, se puede trabajar sin luz en el interior de la cabina, pero los mandos, el panel central y otros dispositivos sí deben estar retroiluminados, también se debe disponer de correctos puntos de luz por si fuesen necesarios.

El objetivo es favorecer la comunicación visual del sistema hombre/máquina y el confort visual, mejorando de esta manera el rendimiento de la persona, la confortabilidad visual y la seguridad.

#### Confort Visual:

El correcto diseño de un sistema de iluminación debe ofrecer las condiciones óptimas para el confort visual. Para conseguir este objetivo, debe establecerse una primera línea de colaboración entre arquitectos, diseñadores de iluminación y los responsables de higiene en el trabajo, que debe ser anterior al inicio del proyecto, con el fin de evitar errores de difícil corrección una vez terminado. Entre los aspectos más importantes que es preciso tener en cuenta cabe citar el tipo de lámpara y el sistema de alumbrado que se va a instalar, la distribución de la luminancia, la eficiencia de la iluminación y la composición espectral de la luz.

El hecho de que la luz y el color afectan a la productividad y al bienestar psicofisiológico del trabajador debe animar a los técnicos en iluminación, fisiólogos y ergonomistas a



tomar iniciativas destinadas a estudiar y determinar las condiciones más favorables de luz y color en cada puesto de trabajo. La combinación de iluminación, el contraste de luminancias, el color de la luz, la reproducción del color o la elección de los colores son los elementos que determinan el clima del colorido y el confort visual.

Los requisitos que un sistema de iluminación debe cumplir para proporcionar las condiciones necesarias para el confort visual son los siguientes:

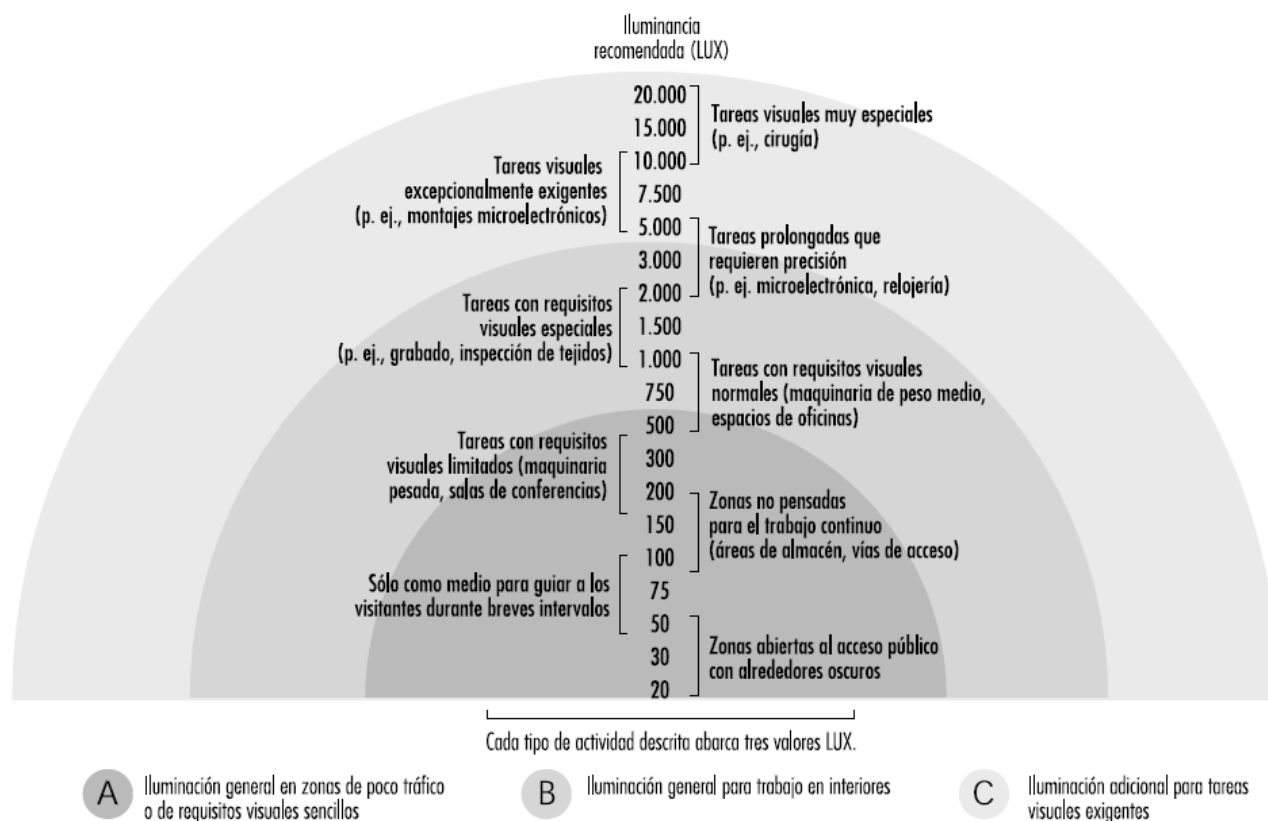
- Iluminación uniforme.
- Luminancia óptima.
- Ausencia de brillos deslumbrantes.
- Condiciones de contraste adecuadas.
- Colores correctos.
- Ausencia de luces intermitentes o efectos estroboscópicos.

Es importante examinar la luz en el lugar de trabajo no sólo con criterios cuantitativos, sino también cualitativos. El primer paso es estudiar el puesto de trabajo, la precisión que requieren las tareas realizadas, la cantidad de trabajo, la movilidad del trabajador... La luz debe incluir componentes de radiación difusa y directa. El resultado de la combinación de ambos producirá sombras de mayor o menor intensidad, que permitirán al trabajador percibir la forma y posición de los objetos situados en el puesto de trabajo. Deben eliminarse los reflejos molestos, que dificultan la percepción de los detalles, así como los brillos excesivos o las sombras oscuras.

El mantenimiento periódico de la instalación de alumbrado es muy importante. El objetivo es prevenir el envejecimiento de las lámparas y la acumulación de polvo en las luminarias, cuya consecuencia será una pérdida constante de luz. Por esta razón, es importante elegir lámparas y sistemas fáciles de mantener. Una bombilla incandescente mantiene su eficiencia hasta los momentos previos al fallo, pero no ocurre lo mismo con los tubos fluorescentes, cuyo rendimiento puede sufrir una reducción del 75 % después de mil horas de uso.

## Niveles de iluminación:

Cada actividad requiere un nivel específico de iluminación en el área donde se realiza. En general, cuanto mayor sea la dificultad de percepción visual, mayor deberá ser el nivel medio de la iluminación. En varias publicaciones se ofrecen directrices de niveles mínimos de iluminación asociados a diferentes tareas. En concreto, los recogidos en la siguiente figura se han tomado de las normas europeas CEN TC 169 y se basan más en la experiencia que en el conocimiento científico.



Niveles de iluminación en función de las tareas realizadas.

Al elegir un cierto nivel de iluminación para un puesto de trabajo determinado, deberán estudiarse los siguientes puntos:

- La naturaleza del trabajo.
- La reflectancia del objeto y de su entorno inmediato.
- Las diferencias con la luz natural y la necesidad de iluminación diurna.
- La edad del trabajador.

Factores que afectan a la visibilidad de los objetos:

El grado de seguridad con que se ejecuta una tarea depende, en gran parte, de la calidad de la iluminación y de las capacidades visuales. La visibilidad de un objeto puede resultar alterada de muchas maneras. Una de las más importantes es el contraste de luminancias debido a factores de reflexión, a sombras, o a los colores del propio objeto y a los factores

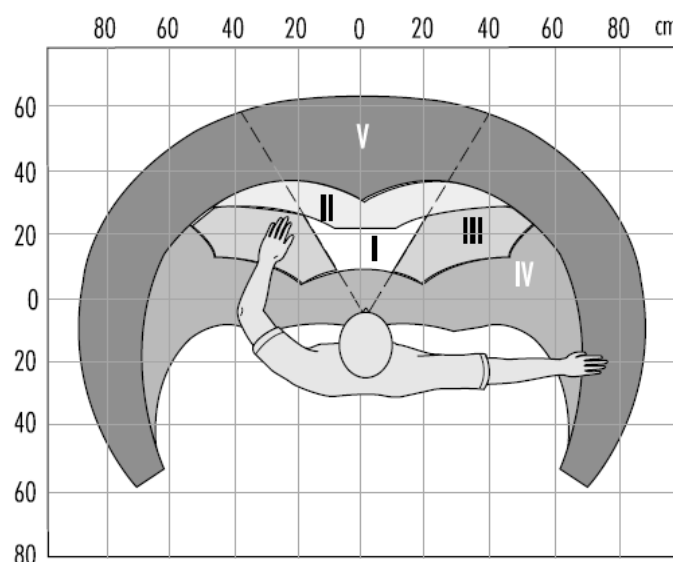
de reflexión del color. Lo que el ojo realmente percibe son las diferencias de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes del mismo objeto. En la siguiente tabla se muestran los contrastes entre colores por orden descendente.

### **CONTRASTES DE COLOR POR ORDEN DESCENDENTE**

Color del Objeto	Color del Fondo
Negro	Amarillo
Verde	Blanco
Rojo	Blanco
Azul	Blanco
Blanco	Azul
Negro	Blanco
Amarillo	Negro
Blanco	Rojo
Blanco	Verde
Blanco	Negro

La luminancia de un objeto, de su entorno y del área de trabajo influyen en la facilidad con que puede verse un objeto. Por consiguiente, es de suma importancia analizar minuciosamente el área donde se realiza la tarea visual y sus alrededores.

Otro factor es el tamaño del objeto a observar, que puede ser adecuado o no, en función de la distancia y del ángulo de visión del observador. Los dos últimos factores determinan la disposición del puesto de trabajo, clasificando las diferentes zonas de acuerdo con su facilidad de visión. Se pueden establecer cinco zonas en el área de trabajo.



Distribución de las zonas visuales en el puesto de trabajo.

En la figura anterior pueden distinguirse cinco zonas en el área de trabajo:

- Zona I: Movimientos frecuentes, en los cuáles se invierte mucho tiempo. Gran esfuerzo visual.
- Zona II: Movimientos menos frecuentes. Esfuerzo visual frecuente.
- Zona III: Movimientos que implican poco tiempo. La información visual no es importante.
- Zona IV: Movimientos aún menos frecuentes. No requieren un esfuerzo visual en particular.
- Zona V: Movimientos que deben evitarse. Esfuerzo visual que debe evitarse.

Un factor adicional es el intervalo de tiempo durante el que se produce la visión. El tiempo de exposición será mayor o menor en función de si el objeto y el observador están estáticos, o de si uno de ellos o ambos se están moviendo. La capacidad del ojo para adaptarse automáticamente a las diferentes iluminaciones de los objetos también puede influir considerablemente en la visibilidad.

Distribución de la luz, deslumbramiento:

Los factores esenciales en las condiciones que afectan a la visión son la distribución de la luz y el contraste de luminancias. Por lo que se refiere a la distribución de la luz, es preferible tener una buena iluminación general en lugar de una iluminación localizada, con el fin de evitar deslumbramientos. Por esta razón, los accesorios eléctricos deberán distribuirse lo más uniformemente posible con el fin de evitar diferencias de intensidad luminosa. El constante ir y venir por zonas sin una iluminación uniforme causa fatiga ocular y, con el tiempo, esto puede dar lugar a una reducción de la capacidad visual.

Cuando existe una fuente de luz brillante en el campo visual se producen brillos deslumbrantes, el resultado es una disminución de la capacidad de distinguir objetos. Los trabajadores que sufren los efectos del deslumbramiento constante y sucesivamente, pueden sufrir fatiga ocular, así como trastornos funcionales, aunque en muchos casos ni siquiera sean conscientes de ello.

El deslumbramiento puede ser directo, cuando su origen está en fuentes de luz brillante situadas directamente en la línea de visión, o reflejado, cuando la luz se refleja en superficies de alta reflectancia. En el deslumbramiento participan los factores siguientes:

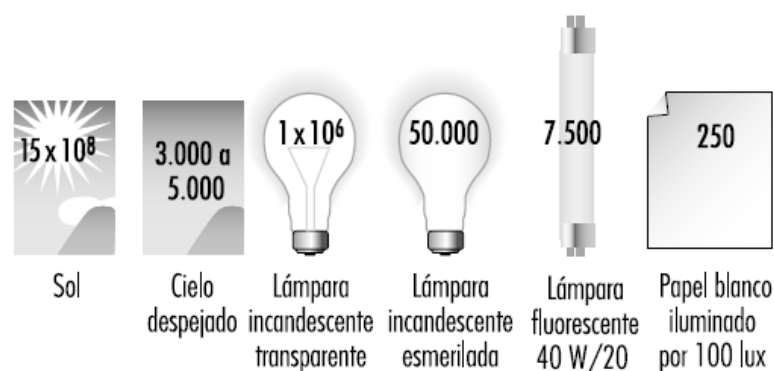
- Luminancia de la fuente de luz: La máxima luminancia tolerable por observación directa es de  $7.500 \text{ cd/m}^2$ .
- Ubicación de la fuente de luz: El deslumbramiento se produce cuando la fuente de luz se encuentra en un ángulo de  $45^\circ$  con respecto a la línea de visión del observador.

En general, se produce más deslumbramiento cuando las fuentes de luz están

montadas a poca altura o en grandes habitaciones, porque las fuentes de luz así ubicadas pueden entrar fácilmente en el ángulo de visión que provoca deslumbramiento.

- Distribución de luminancias entre diferentes objetos y superficies: Cuanto mayores sean las diferencias de luminancia entre los objetos situados en el campo de visión, más brillos se crearán y mayor será el deterioro de la capacidad de ver provocado por los efectos ocasionados en los procesos de adaptación de la visión. Los valores máximos recomendados de disparidad de luminancias son:
  - Tarea visual: superficie de trabajo = 3:1.
  - Tarea visual: alrededores = 10:1.
- Tiempo de exposición: Incluso las fuentes de luz de baja luminancia pueden provocar deslumbramiento si se prolonga demasiado la exposición.

En la siguiente figura se recogen algunos de los valores aproximados de luminancia para varias fuentes de luz.



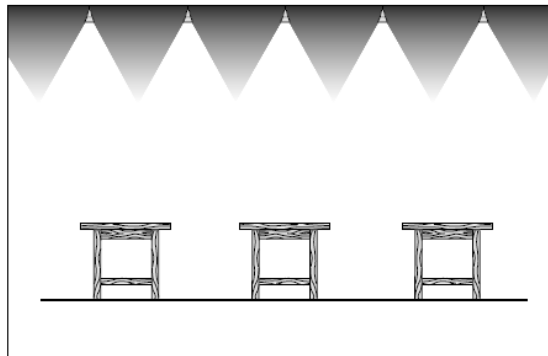
Valores aproximados de luminancia.

Evitar el deslumbramiento es un propósito relativamente sencillo y puede conseguirse de diferentes maneras. Una de ellas, por ejemplo, es colocar rejillas bajo las fuentes de iluminación, o utilizar difusores o reflectores parabólicos que puedan enfocar la luz apropiadamente, o instalar las fuentes de luz de modo que no interfieran con el ángulo de visión. A la hora de diseñar el ambiente de trabajo, la correcta distribución de la luminancia es tan importante como la propia iluminación, pero también es importante considerar que una distribución de luminancias excesivamente uniforme dificulta la percepción espacial y tridimensional de los objetos.

#### Sistemas de iluminación:

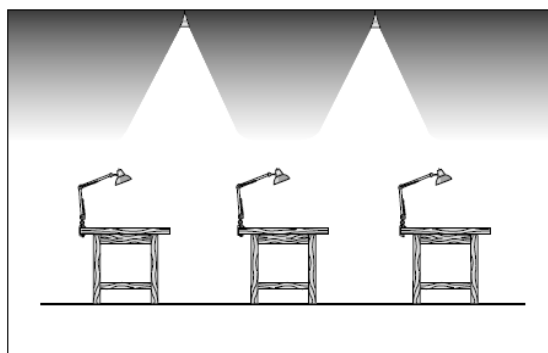
El interés por la iluminación natural ha aumentado recientemente. Y no se debe tanto a la calidad de este tipo de iluminación como al bienestar que proporciona. Pero como el nivel de iluminación de las fuentes naturales no es uniforme, se necesita un sistema de iluminación artificial. Los sistemas de iluminación más utilizados son los siguientes:

- Iluminación general uniforme: En este sistema, las fuentes de luz se distribuyen uniformemente sin tener en cuenta la ubicación de los puestos de trabajo. El nivel medio de iluminación debe ser igual al nivel de iluminación necesario para la tarea que se va a realizar. Son sistemas utilizados principalmente en lugares de trabajo donde no existen puestos fijos. Debe tener tres características fundamentales:
  - Estar equipado con dispositivos antibrillos: rejillas, difusores, reflectores...
  - Debe distribuir una fracción de la luz hacia el techo y la parte superior de las paredes.
  - Las fuentes de luz deben instalarse a la mayor altura posible, para minimizar los brillos y conseguir una iluminación lo más homogénea posible.



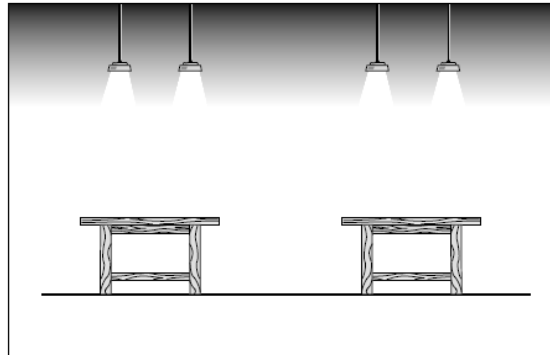
Iluminación general uniforme.

- Iluminación general e iluminación localizada de apoyo: Se trata de un sistema que intenta reforzar el esquema de la iluminación general situando lámparas junto a las superficies de trabajo. Las lámparas suelen producir deslumbramiento y los reflectores deberán situarse de modo que impidan que la fuente de luz quede en la línea directa de visión del trabajador. Se recomienda utilizar iluminación localizada cuando las exigencias visuales sean cruciales, como en el caso de los niveles de iluminación de 1.000 lux o más. Generalmente, la capacidad visual del trabajador se deteriora con la edad, lo que obliga a aumentar el nivel de iluminación general o a complementarlo con iluminación localizada.



Iluminación general e iluminación localizada de apoyo.

- Iluminación general localizada: Es un tipo de iluminación con fuentes de luz instaladas en el techo y distribuidas teniendo en cuenta dos aspectos, las características de iluminación del equipo y las necesidades de iluminación de cada puesto de trabajo. Está indicado para aquellos espacios o áreas de trabajo que necesitan un alto nivel de iluminación y requiere conocer la ubicación futura de cada puesto de trabajo con antelación a la fase de diseño.



Iluminación general localizada.

#### 8.4.1.2. TEMPERATURA

Se puede analizar la relación entre personas y ambiente térmico, considerando que el cuerpo humano es un depósito al que, mediante unos mecanismos, llega calor, y que, al mismo tiempo y mediante otros mecanismos, el calor sobrante es evacuado.

Se sabe, además, que ante cualquier situación, laboral o no, y por muy buenas que sean las condiciones térmicas, existe al menos un 5% de individuos de la población cuyas preferencias térmicas no estarán satisfechas, bien por frío, bien por calor. Al ser tan sólo un 5%, se concluye, que esto puede escapársele al diseño ergonómico, puesto que este, debe satisfacer a un 90%. De todas maneras, esto podría solucionarse individualizando las áreas térmicas, teniendo cada uno su propio espacio y aclimatándolo al gusto, solución complicada y cara.

El confort térmico implica una sensación neutra en el individuo respecto al ambiente térmico, sin embargo, las diferencias biológicas individuales, y otros factores pueden influir en el desequilibrio térmico y en la sensación de discomfort.

Las relaciones entre las personas y el ambiente térmico difieren de las que se establecen con otros tipos de agresiones ambientales en los siguientes aspectos:

- En función de la intensidad del trabajo realizado, el organismo genera mayor o menor cantidad de calor. Para mantener el equilibrio interno el cuerpo despende el calor sobrante y este calor que se transmite al exterior se convierte en un agente contaminador muy importante. Importante sobre todo en espacios cerrados y pequeños como lo es un coche. Este hecho establece una gran diferencia con el resto de los contaminantes que nos podemos encontrar en el mundo laboral, ya que

la posible contaminación no solo se encuentra en el exterior sino que el propio individuo es un agente contaminante.

- Las consecuencias de la exposición a ambientes térmicos adversos no dan lugar a un deterioro lento y paulatino de la salud, sino a manifestaciones bruscas en forma de lo que se puede denominar *accidente biológico*. Ejemplos de ello son las lipotimias por exposiciones a ambientes calurosos y la congelación debido a congelaciones por frío. Dentro de un coche podemos encontrarnos con mareos, ganas de vomitar... síntomas que al abrir la ventanilla y cambiar el aire viciado del interior del vehículo, se atenúan.
- El organismo dispone de mecanismos de regulación potentes que le permiten mantener la temperatura interna prácticamente constante a pesar de la adversidad de las condiciones ambientales.

Existen mecanismos de intercambio térmico entre la persona y el medio ambiente, y estos van a depender de:

- Las condiciones ambientales:
  - Temperatura del aire: Es la temperatura que nos indica un termómetro de mercurio, es decir, es la temperatura a la que se encuentra el aire que nos rodea. La diferencia entre esta temperatura y la piel del individuo es la que determina el intercambio de calor entre el individuo y la piel. Este intercambio de calor se produce por convección.
  - Temperatura radiante media: Es la temperatura que tendrían las paredes de un local imaginario en el que dicha temperatura fuera uniforme y los intercambios de calor por radiación fueran iguales a los intercambios de calor por radiación en el ambiente real. Esta temperatura no se puede medir con un termómetro común de mercurio, se emplea el globotermómetro, que permite obtener la temperatura de globo.
  - Humedad relativa: La humedad es una medida del agua que hay en el ambiente y la humedad relativa nos dice la concentración de vapor de agua en el aire. La humedad relativa se mide mediante un psicrómetro que dispone de dos termómetros de mercurio y un pequeño ventilador que hace circular el aire alrededor de los bulbos. Uno de esos bulbos está recubierto por una muselina húmeda. El psicrómetro nos proporciona la temperatura húmeda, y de la combinación de este parámetro con la obtenida del termómetro normal (temperatura seca) conseguimos la humedad relativa.
  - Velocidad del aire: La velocidad del aire, es un parámetro que se debe tener en cuenta ya que interviene de forma directa en el nivel de confort de un puesto de trabajo. Se expresa normalmente en metros por



segundo (m/s) o por minuto (m/min) y el aparato que mide dicha velocidad se denomina anemómetro. Así pues dentro de un coche, viajar con la ventanilla bajada no solo es malo para la aerodinamicidad del vehículo, sino también lo es para el propio confort del conductor y de los pasajeros.

- Las condiciones individuales:
  - Consumo metabólico: El cuerpo humano necesita energía para desarrollar sus funciones y esta energía la obtiene de la oxidación de las sustancias incorporadas mediante la alimentación. El organismo, sólo convierte en trabajo útil una parte de la energía que genera, desechando el resto en forma de calor. La energía que el organismo consume puede evaluarse mediante la estimación del consumo metabólico.

Consumo metabólico = Metabolismo basal + Consumo metabólico del trabajo

- El metabolismo basal es aquel que el individuo necesita para desarrollar sus funciones vitales. El consumo metabólico basal es aproximadamente de 29 watts/m<sup>2</sup>.
- El consumo metabólico del trabajo se estima mediante tablas que asignan valores diferentes en función del tipo de trabajo.
- Atuendo: El tipo de vestimenta tiene su importancia dentro de las condiciones individuales con las que una persona se enfrenta a una situación de confort térmico.

La capacidad de aislar térmicamente que poseen las prendas de vestir se denomina *Resistencia térmica del vestido* y se mide en unidades llamadas *clo*.

Mediante los siguientes mecanismos el organismo recibe o cede calor del ambiente:

- Evaporación del sudor: Mediante la evaporación del sudor se elimina calor, sin embargo, no basta solo con sudar para restablecer el equilibrio del organismo. La sudoración es un mecanismo de defensa unidireccional frente al calor pero el éxito de que el sudor se evapore dependerá de dos aspectos: la humedad y la velocidad del aire.
- La convección: Es un mecanismo bidireccional mediante el cual, la piel cede calor al aire o recibe calor de él, cuando las temperaturas de ambos son distintas.
- La radiación: Es también un mecanismo de intercambio térmico y su origen está en que cualquier sólido está por un lado, emitiendo radiación infrarroja (mayor cuanto mayor sea su temperatura) y por otro lado, está recibiendo los rayos infrarrojos emitidos por los objetos circundantes.

## VALORES DEL CONSUMO METABÓLICO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ACTIVIDAD, SEGÚN LA NORMA INTERNACIONAL ISO 7730.84

Actividad	Producción de energía metabólica	
	(watts/m <sup>2</sup> )	(Kcal/h)
Reposo, acostado	46	71,4
Reposo, sentado	58	90
Reposo, de pie	70	108,6
Actividad ligera, sentado (oficina, laboratorio, escuela)	70	108,6
Actividad de pie (laboratorio, industria ligera)	93	144,3
Actividad de pie (vendedor, trabajo en máquina)	116	180
Actividad media (trabajo en гараje, trabajo en máquina)	165	256

En la norma ISO/DIS 8996 se pueden encontrar tablas más completas para el cálculo del consumo metabólico dependiendo del tipo de trabajo, de la posición del cuerpo y del movimiento.

De todo lo anteriormente dicho se deduce que, cuanto más intensa es la actividad física de la persona, mayor será la cantidad de calor que, deberá eliminarse para mantener el equilibrio térmico. El calor se mide en kilocalorías (Kcal).

## CALOR PRODUCIDO POR EL CUERPO EN DIVERSAS ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	CALOR Kcal/h
Durmiendo	60
Sentado sin hacer nada	100
Trabajo de oficina sentado	125
<b>Sentado conduciendo</b> o tocando el piano	<b>150</b>
De pie, trabajo ligero de banco sin andar	150
De pie, trabajo ligero de banco andando un poco	175
Cocinar (de pie)	210
Poner ladrillos	260
Limar a 60 golpes/minuto	270
Lavar el coche	300
Hacer la cama	360
Bailar un vals	460

Fuente: Gutiérrez García, Juan Manuel. *Ergonomía y psicología en la empresa* 2001.

Se sabe que no se puede hablar de situaciones de confort térmico para todos los individuos, puesto que éste depende, no sólo de las condiciones ambientales, sino

también de las variables individuales no generalizables. Por lo tanto, debemos limitarnos a situaciones aceptables para la mayoría de las personas. De esta forma el índice medio de valoración (IMV) indica la sensación térmica que experimentarán la mayoría de las personas sometidas a una misma situación.

IMV	PORCENTAJE DE INSATISFECHOS	
	Por calor	Por frío
+2	75%	0%
+1	25%	0%
0	5%	5%
-1	0%	25%
-2	0%	75%

Fuente: Gutiérrez García, Juan Manuel. *Ergonomía y psicología en la empresa* 2001.

Puede observarse que aunque el índice de valoración sea de 0, esto no impedirá que un 10% de los expuestos no consideren confortable la situación (un 5% por calor y otro 5% por frío).

El cálculo del IMV se realiza a partir de ciertas variables:

- Temperatura del aire (°C)
- Humedad relativa (%)
- Temperatura radiante media (°C)
- Temperatura de globo (°C)
- Velocidad del aire (m/s)
- Resistencia térmica del vestido (clo)
- Consumo metabólico (watts/m<sup>2</sup>)

Todas las recomendaciones vienen fijadas para que no haya más de un 10% de personas insatisfechas con la situación térmica, es decir, que el IMV se mantenga entre -0,5 y +0,5.

#### **CONDICIONES RECOMENDADAS PARA TRABAJOS CON CONSUMO METABÓLICO = 70 watts/m<sup>2</sup>**

	Temperatura operativa	Velocidad del aire	Humedad relativa	Resistencia térmica
Condiciones invernales	Entre 20 y 24 °C	< 0,15 m/s	50%	1 clo
Condiciones veraniegas	Entre 23 y 26 °C	< 0,25 m/s	50%	0,5 clo

Temperatura operativa es la media de la temperatura seca del aire y la temperatura radiante media, siempre que la diferencia entre ellas sea menor de 4° C.

Fuente: Gutiérrez García, Juan Manuel. *Ergonomía y psicología en la empresa* 2001.

Existen diferentes formas de actuación frente al estrés térmico:

- Actuación sobre la fuente de calor:
  - Protección contra fuentes de calor externas.
    - Superficies acristaladas:
      - Persianas absorbentes exteriores.
      - Doble cristal con persiana interior.
      - Cristales tintados.
      - Cortinas de aire frío.
  - Protección contra fuentes de calor internas.
    - Campanas extractoras.
    - Pantallas de aislamiento en los focos de calor radiante.
- Actuación sobre el medio:
  - Ventilación de locales.
  - Instalación de aire climatizado.
  - Creación de un microclima en el puesto de trabajo.
- Actuación sobre el individuo:
  - Reducción del consumo metabólico en situaciones calurosas:
    - Reduciendo el ritmo de trabajo.
    - Aumentando las pausas.
    - Rotando los puestos.
    - Automatizando el proceso.
  - Control médico.
  - Protección individual mediante trajes que reúnan las siguientes características:
    - Ser ininflamables.
    - Imperdir la entrada de calor ambiental.
    - Eliminar el calor producido por el cuerpo y el que penetra del exterior.

El cuerpo puede responder de diferentes maneras frente al estrés térmico:

- Por calor:

---

#### **ACCIDENTES Y TRASTORNOS PRODUCIDOS POR PROBLEMAS DE TERMOREGULACIÓN.**

---

Accidentes	Trastornos
Quemaduras.	Inestabilidad circulatoria.
Golpe de calor.	Déficit salino (fatiga, náuseas, vómitos, vértigos).
Hiperpirexia.	Afecciones cutáneas.
	Deshidratación.
	Anhidrosis.

---

Fuente: Cortés Díaz, José María. *Técnicas de prevención de riesgos laborales*. 1997

- Por frío:
  - Hipotermia.
  - Dificultad en el habla.
  - Pérdida de la memoria.
  - Pérdida de destreza manual.
  - Shock.
  - Muerte.

En el cuadro inferior se incluyen los límites de exposición máximos diarios al frío, teniendo en cuenta únicamente el nivel térmico.

TEMPERATURAS	TIEMPOS DE PERMANENCIA
De 0 a -18 °C	No se establecen límites si se usan ropas adecuadas.
De -18 a -34 °C	Máximo 4 h/día, alternando 1 h de exposición y 1 h de recuperación.
De -34 a -57 °C	Dos períodos de 30 minutos, separados 4 h.

Fuente: Cortés Díaz, José María. *Técnicas de prevención de riesgos laborales*. 1997

#### 8.4.1.3. VIBRACIÓN

Según la OIT<sup>40</sup> la vibración es todo movimiento transmitido al cuerpo por estructuras sólidas capaces de producir efectos nocivos o cualquier tipo de molestia. Así pues, las vibraciones pueden ser consideradas como movimientos oscilatorios de partículas en torno a una posición de referencia.

Frecuentemente se asocia la exposición a las vibraciones con la exposición al ruido en los procesos industriales y esto es debido a que por lo general ambos se producen en la misma operación, sin embargo, los efectos para el organismo son de diferente naturaleza.

Las magnitudes que definen las vibraciones son tres:

- Aceleración ( $\text{m/s}^2$ ): Es la variación de la velocidad en el tiempo. Cuanto mayor es la aceleración, mayor es el efecto negativo para la salud. Esto se debe a que la energía es mayor y dispone de más capacidad para interferir en el cuerpo humano.
- Velocidad ( $\text{m/s}$ ): Es la variación del desplazamiento con el tiempo.
- Desplazamiento (m): Se refiere al desplazamiento respecto a la posición de equilibrio.

Las vibraciones tienen efectos sobre el organismo, para poder estudiar el efecto de las

<sup>40</sup> OIT Organización Internacional del Trabajo

vibraciones en el cuerpo humano es importante tener en cuenta el tipo de exposición de las vibraciones; es decir, si se trata de una vibración de cuerpo total que es la resultante de someter al cuerpo humano en su totalidad a una vibración mecánica, o si se trata de una vibración segmental en la que sólo queda expuesta una parte del cuerpo.

- Vibración de cuerpo completo: Las exposiciones profesionales a las vibraciones de cuerpo completo se dan, principalmente, en el transporte, pero también en algunos procesos industriales. El transporte terrestre, marítimo y aéreo puede producir vibraciones que pueden causar malestar, interferir con las actividades u ocasionar lesiones. La exposición más común a vibraciones y choques fuertes suele darse en vehículos todo terreno, incluyendo maquinaria de movimiento de tierras, camiones industriales y tractores agrícolas.

Como todas las estructuras mecánicas, el cuerpo humano tiene frecuencias de resonancia a las que presenta una respuesta mecánica máxima. La explicación de las respuestas humanas a las vibraciones no puede basarse exclusivamente en una sola frecuencia de resonancia. Hay muchas resonancias en el cuerpo, y las frecuencias de resonancia varían de unas personas a otras y en función de la postura. Para describir el modo en que la vibración produce movimiento en el cuerpo suelen utilizarse dos respuestas mecánicas: *transmisibilidad* e *impedancia*. La transmisibilidad indica qué fracción de la vibración se transmite, por ejemplo, desde el asiento a la cabeza. La transmisibilidad del cuerpo depende en gran medida de la frecuencia de vibración, el eje de vibración y la postura del cuerpo. La vibración vertical de un asiento causa vibraciones en varios ejes en la cabeza; en el caso del movimiento vertical de la cabeza, la transmisibilidad suele alcanzar su máximo valor en el intervalo de 3 a 10 Hz. La impedancia mecánica del cuerpo indica la fuerza que se requiere para que el cuerpo se mueva a cada frecuencia. Aunque la impedancia depende de la masa corporal, la impedancia vertical del cuerpo humano suele presentar resonancia en torno a los 5 Hz. La impedancia mecánica del cuerpo, incluyendo esta resonancia, incide considerablemente en la forma en que se transmite la vibración a través de los asientos.

- Vibración segmental, vibraciones transmitidas a las manos: Las vibraciones mecánicas producida por procesos o herramientas a motor y que penetran en el cuerpo por los dedos o la palma de las manos se denominan *vibraciones transmitidas a las manos*<sup>41</sup>. En varias actividades industriales se encuentran muy extendidos los procesos y herramientas a motor que exponen las manos del

---

<sup>41</sup> Como sinónimos de vibraciones transmitidas a las manos se utilizan con frecuencia las expresiones vibraciones mano-brazo y vibraciones locales o segmentarias.

operario a vibraciones. La exposición de origen profesional a las vibraciones transmitidas a las manos proviene de las herramientas a motor que se utilizan en fabricación (herramientas de percusión para trabajo de metales, amoladoras y otras herramientas rotativas, llaves de impacto), explotación de canteras, minería y construcción (martillos perforadores de roca, martillos rompedores de piedra, martillos picadores, compactadores vibrantes), agricultura y trabajos forestales (sierras de cadena, sierras de recortar, descortezadoras) y servicios públicos (martillos rompedores de asfalto y hormigón, martillos perforadores, amoladoras de mano). También puede producirse exposición a vibraciones transmitidas a las manos por piezas vibrantes sostenidas con las manos del operario, como en el amolado de columna, y por controles manuales vibrantes, como al utilizar cortacéspedes o controlar rodillos vibrantes para compactación de carreteras. La exposición excesiva a las vibraciones transmitidas a las manos puede causar trastornos en los vasos sanguíneos, nervios, músculos, huesos y articulaciones de las extremidades superiores. Se calcula que del 1,7 al 3,6% de los trabajadores de los países europeos y de Estados Unidos están expuestos a vibraciones transmitidas a las manos potencialmente peligrosa<sup>42</sup>. La expresión síndrome de vibraciones mano-brazo (HAV) se utiliza comúnmente en referencia a los síntomas asociados con exposición a vibraciones transmitidas a las manos como:

- Trastornos vasculares.
- Trastornos neurológicos periféricos.
- Trastornos de los huesos y articulaciones.
- Trastornos musculares.
- Otros trastornos (todo el cuerpo, sistema nervioso central).

Actividades tales como la conducción de motocicletas o el uso de herramientas vibrantes domésticas pueden exponer las manos esporádicamente a vibraciones de gran amplitud, pero solo las largas exposiciones diarias pueden provocar problemas de salud. Cabe suponer que los factores que influyen en la transmisión de vibraciones al sistema de los dedos, la mano y el brazo desempeñan un papel importante en la génesis de lesiones por vibraciones. La transmisión de vibraciones depende de las características físicas de la vibración (magnitud, frecuencia, dirección) y de la respuesta dinámica de la mano<sup>43</sup>.

En función de la frecuencia de la vibración, el cuerpo humano sufre diferentes efectos perjudiciales.

---

<sup>42</sup> AISSA Sección Internacional de Investigación 1989.

<sup>43</sup> Griffin 1990.

<b>FRECUENCIA DE LA VIBRACIÓN</b>	<b>MÁQUINA O HERRAMIENTA QUE LA ORIGINA</b>	<b>EFFECTOS SOBRE EL ORGANISMO</b>
Muy baja frecuencia 1 Hz	Transporte: Avión, coche, barco, tren, (movimiento de balanceo)	Estimulan el laberinto del oído izquierdo. Provocan trastornos en el sistema nervioso central ("mal del transporte") Puede producir mareos y vómitos.
Baja frecuencia 1 – 20 Hz	Vehículos de transporte para pasajeros y/o mercancías. Vehículos industriales, carretillas, etc. Tractores, maquinaria agrícola. Maquinaria y vehículos de obras públicas.	Lumbalgias, hernias, pinzamientos discales, lumbociáticas. Inciden sobre trastornos debidos a malas posturas. Síntomas neurológicos: Variación del ritmo cerebral, dificultad del equilibrio. Trastornos de visión por resonancia.
Alta frecuencia 20 – 1000 Hz	Herramientas manuales rotativas, alternativas o percutoras: pulidoras, lijadoras, motosierras, martillo neumático.	Artrosis hiperostósante de codo. Afecciones angioneuróticas de la mano como calambres que pueden acompañarse de trastornos prolongados de sensibilidad. Aumento de la incidencia de enfermedades de estómago.

Fuente: Gutiérrez García, Juan Manuel. *Ergonomía y psicología en la empresa* 2001.

Se pueden controlar los riesgos de las vibraciones mediante diferentes actuaciones:

- Actuación administrativa:
  - Disminución de los tiempos de exposición.
  - Rotación de los puestos.
  - Establecimiento de pausas durante la jornada.
  - Adecuación de las tareas a las susceptibilidades individuales.
- Actuación técnica sobre el foco y sobre el medio: El mantenimiento preventivo de la maquinaria es una de las mejores actuaciones sobre el foco. Otra forma de actuación sobre el foco es la de modificar la frecuencia de la resonancia, variando la masa o la rigidez del elemento vibrante. Como medio de actuación sobre el medio cabe destacar la utilización de materiales aislantes que atenúen la transmisión de estas al hombre.
- Actuación sobre el receptor:
  - Información y formación de los efectos de las vibraciones y sobre sus medidas preventivas.
  - Utilización de protecciones personales.
  - Controles periódicos de la salud.



Para evaluar el riesgo que suponen las vibraciones existe la norma ISO 2631/1978, la cual contempla las aceleraciones máximas recomendables para distintas frecuencias que afectan a la totalidad del cuerpo. Esta norma establece los límites para las vibraciones transmitidas entre 1 y 80 Hz. Además esta norma define tres ejes de forma imaginaria, orientan el cuerpo humano en el espacio tridimensional. Así se miden las aceleraciones en la dirección del eje Z (vertical) y en la dirección de los ejes X e Y (laterales).

Como norma general se establece que:

- Una exposición doble de la aceleración (6 dB más alto) supone un riesgo higiénico o *Límite de exposición*.
- Una exposición reducida a 1/3 de los valores recomendados (10 dB menos) implica ausencia de riesgo higiénico o *Límite de confort reducido*.
- Vibraciones transmitidas a mano-brazo: En este caso es la norma ISO 5349/1986 la que valora los riesgos por vibraciones en la mano y el brazo. Los criterios de valoración están pensados para prevenir la aparición de entumecimientos en lo que se denomina síndrome de la *mano muerta*, *dedo blanco* o *síndrome de Raynaud*.

#### Mareo inducido por el movimiento<sup>44</sup>:

El mareo inducido por el movimiento, o cinetosis, no es un proceso patológico, sino una respuesta normal a ciertos estímulos de movimiento con los que el individuo no está familiarizado y a los que, por lo tanto, no se encuentra adaptado. Solo son verdaderamente inmunes quienes carecen de aparato vestibular funcional del oído interno.

Hay muchos tipos diferentes de movimiento que provocan el síndrome denominado mareo inducido por el movimiento. La mayoría de ellos están relacionados con medios de locomoción, en particular: barcos, aerodeslizadores, aviones, automóviles y trenes, y con menor frecuencia: elefantes y camellos. Las complejas aceleraciones generadas por atracciones mecánicas de feria tales como columpios, tirovivos, montañas rusas... pueden provocar intenso mareo. Además, muchos astronautas/cosmonautas padecen mareo (mareo espacial) cuando efectúan movimientos con la cabeza por primera vez en el entorno, sometido a fuerzas anormales (ingravidez) del vuelo orbital. También producen el síndrome del mareo ciertos estímulos visuales en movimiento, sin ningún movimiento físico del observador.

Existen procedimientos que reducen al mínimo el estímulo provocador de mareo o aumentan la tolerancia. Pueden prevenir el mareo en una determinada proporción de la

---

<sup>44</sup> Alan J. Benson

población, pero ninguno, exceptuando la retirada del entorno de movimiento, es eficaz al 100%. Al diseñar un vehículo, es beneficioso tener en cuenta los factores que elevan la frecuencia y reducen la magnitud de las oscilaciones que experimentan los ocupantes durante el funcionamiento normal. La provisión de apoyo para la cabeza y sujeción corporal para minimizar los movimientos de cabeza innecesarios es ventajosa, y se ve reforzada si el ocupante puede adoptar una posición reclinada o de supinación. El mareo es menos intenso si el ocupante puede ver el horizonte; para quienes carecen de una referencia visual externa, cerrar los ojos reduce la discordancia visual/ vestibular. También ayuda concentrarse en una tarea, especialmente el control del vehículo. Aunque estas medidas pueden aportar ventajas inmediatas, a la larga lo más beneficioso es desarrollar una adaptación protectora. Se consigue mediante una exposición continuada y repetida al entorno de movimiento, aunque puede facilitarse con ejercicios en tierra, en los que los estímulos provocadores de mareo se generan realizando movimientos con la cabeza mientras se gira en una mesa rotativa (tratamiento de desensibilización).

#### 8.4.1.4. RUIDO

El ruido constituye en estos momentos un grave problema para el mundo desarrollado, siendo la causa de la progresiva pérdida de la capacidad auditiva de muchas personas.

El sonido es un fenómeno físico que se define como una vibración acústica capaz de producir una sensación auditiva. El sonido se caracteriza por la formación de ondas invisibles pero medibles, dado que se manifiestan como cambios de presión perceptibles por el oído. Los sonidos se diferencian entre sí en función de dos parámetros: la presión sonora (se mide en decibelios, dB) y la frecuencia (que determina el tono de un sonido, se mide en hercios, Hz).

La presión sonora se mide en decibelios en vez de en micropascales, unidad clásica de la medida de la presión, debido a que para abarcar los diferentes niveles de audición del oído humano las cifras irían desde el 20 al 100.000.000. Así pues por comodidad y por no manejar cifras tan voluminosas, se emplea el decibelio.

Hay que saber que los decibelios no siguen las reglas de la aritmética clásica, sino que deben sumarse de manera logarítmica<sup>45</sup>.

---

<sup>45</sup> Logaritmos:

Definición: El logaritmo en base  $a$  de un número  $N$ , es otro número  $n$ , tal que cumple esta ecuación:

$$a^n = N$$

Aparte del uso de los decibelios, se utilizan los decibelios A (dB A) para comparar riesgos de diferentes tipos de ruidos, dado que nos centraremos en los niveles de presión sonora, independientemente de las frecuencias.

El ruido es una energía que se desplaza en el espacio durante un tiempo, y se expresa con los siguientes conceptos:

- Potencia acústica es la cantidad de energía acústica que emite un foco en una unidad de tiempo. Se expresa en vatios (W).
- Presión acústica es la cantidad de energía acústica por unidad de superficie ( $\text{N/m}^2$ ).
- Intensidad acústica es la cantidad de energía acústica que pasa a través de la unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación en la unidad de tiempo ( $\text{W/m}^2$ ).

El ruido puede ser clasificado según tipos:

- Ruido de impacto: Ruido en que el nivel de presión acústica decrece con el tiempo y las variaciones entre dos máximos consecutivos de nivel acústico se efectúa en un tiempo superior a un segundo, con un tiempo de actuación inferior a 0,2 segundos.
- Ruido continuo: Ruido en el que el nivel de presión acústica se mantiene constante en el tiempo y si posee máximos estos se producen en intervalos menores a un segundo.
- Ruido estable: Ruido continuo en el que su nivel de presión acústica ponderado en un punto se mantiene prácticamente constante en el tiempo. La diferencia de

---

es decir:

$$\log_a N = n \qquad a^n = N$$

Operaciones con logaritmos:

- Adición/resta

$$\log(m + n) \neq \log(m) + \log(n)$$

- Multiplicación/división

$$\log(m \cdot n) = \log(m) + \log(n)$$

$$\log(m/n) = \log(m) - \log(n)$$

- Potencias/raíces

$$\log(m^n) = n \cdot \log(m)$$

$$\log(m^{1/n}) = (1/n) \cdot \log(m)$$

valores máximo y mínimo es inferior a 5 dB (A).

- Ruido variable: Ruido continuo cuyo nivel de presión acústica oscila más de 5 dB (A) a lo largo del tiempo. Un ruido variable puede descomponerse en ruidos estables.

El ruido tiene efectos sobre el organismo, entre los que podemos destacar:

- Fatiga auditiva: Es un proceso mediante el que el umbral auditivo aumenta considerablemente tras un período de tiempo en el que se está sometido a ambientes ruidosos. Se trata de un efecto reversible, ya que tras un período de recuperación el umbral auditivo de la persona se restablece a su nivel habitual.
- Sordera profesional: Las personas que se ven frecuentemente sometidas a ambientes sonoros intensos, van sufriendo un paulatino y lento proceso por el que su umbral auditivo se eleva de forma progresiva y por lo tanto van perdiendo la capacidad para oír sonidos de menor intensidad.
- Efectos fisiológicos:
  - Actúa sobre el aparato circulatorio causando:
    - Aumento de la presión arterial.
    - Aumento del ritmo cardíaco.
  - Actúa sobre el metabolismo, acelerándolo.
  - Aumenta la tensión del aparato muscular.
  - Inhibe el aparato digestivo.
  - Modifica los ritmos del aparato respiratorio.
- Efectos psicológicos:
  - El ruido es causa de molestia y desagrado.
  - Se pueden producir alteraciones del comportamiento: agresividad, ansiedad, disminución de la atención y la memoria inmediata.
  - Con respecto a la satisfacción, el ruido es uno de los aspectos más molestos para los trabajadores en relación con su entorno.

Para paliar los efectos que el ruido tiene sobre el organismo se pueden tomar las siguientes actuaciones:

- Control administrativo: Hace referencia a las actuaciones por parte de la dirección de una empresa para reducir los riesgos derivados de niveles sonoros elevados. Estas actuaciones pueden ser las siguientes:
  - Comprar máquinas o equipos menos ruidosos.
  - Reducir los tiempos de exposición en el manejo de máquinas ruidosas.
  - Dividir los trabajos ruidosos entre varios trabajadores.
  - Realizar los trabajos ruidosos en las horas en las que el número de trabajadores expuestos sea el mínimo.

- Actuación sobre el foco de emisión, esta actuación es más eficaz y menos costosa y las posibles soluciones son:
  - Reducir las fricciones.
  - Utilizar aisladores y amortiguadores.
  - Emplear lubricantes adecuados.
  - Revisión periódica y mantenimiento adecuado de la maquinaria.
- Actuación sobre el medio de difusión:
  - Aislamiento antivibrátil.
  - Revestimientos absorbentes del sonido.
  - Apantallado.
  - Blindajes.
  - Cabinas.
- Actuación sobre el receptor: Se recurre a la protección individual del trabajador (EPIs) mediante protectores auditivos cuando se han agotado todas las posibilidades de realizar el control del ruido y el nivel de ruido al que está expuesto el trabajador es superior a lo permitido.

#### 8.4.2. FACTORES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS: CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR

El ser humano pasa, generalmente, la mayor parte de su vida en el interior de edificios. Debido al gran tiempo empleado en estos lugares interiores, a principios de siglo XX se empieza a plantear la posibilidad de acondicionar el aire interior con el único fin de mejorar el grado de confort térmico. Así en 1902 Willis H. Carrier diseña el primer sistema de control de temperatura y humedad. Y aunque desde entonces, la técnica ha evolucionado considerablemente, aún hoy no se ha alcanzado el grado de perfección deseada, ya que los sistemas de ventilación siguen provocando molestias y enfermedades.

Los sistemas de ventilación provocan enfermedades, sobre todo por falta de limpieza, para ello la limpieza ha de ser exhaustiva. Además no es cuestión de acabar con los microorganismos sino de prevenir, es decir, crear unas condiciones que hagan imposible su creación. Las consecuencias de la falta o deficiencia del mantenimiento son evidentes: entre tres y cuatro millones de trabajadores españoles están expuestos a alteraciones patológicas provocadas por estos sistemas. Un 24% se ausentan por enfermedad y el promedio de bajas por esta causa es de 2,5 días por año.

El deterioro de la calidad del aire en los espacios interiores puede ser la causa del fenómeno denominado *Síndrome del edificio enfermo* que se caracteriza por ser un edificio en que las quejas y los problemas respiratorios son más frecuentes de lo razonablemente esperable. Los síntomas más comunes son irritación de mucosas, dolores de cabeza, sensación de ahogo, tasas más altas de resfriados, alergias...

Como en el caso de los edificios, en los vehículos se plantea el mismo problema o quizá mayor, dado su reducido espacio y las mismas necesidades de acondicionar el aire interior. Además al igual que en los edificios, en los coches también se pasan largos períodos de nuestro tiempo, siendo por ello una necesidad tener un correcto ambiente interior.

Los ambientes interiores están en algunos casos sometidos a unos niveles de contaminantes en el aire muy superiores a los que existen en el medio ambiente exterior. La calidad del ambiente interior depende de los siguientes factores:

- La calidad del aire exterior.
- El diseño del sistema de ventilación.
- Mantenimiento y las condiciones en las que el sistema de ventilación trabaja.
- La presencia de fuentes de contaminación interior.

Los contaminantes que influyen en la calidad del ambiente pueden ser de origen químico o biológico.

#### Contaminantes químicos:

CONTAMINANTES QUÍMICOS					
		Contaminante químico	Fuente	Características	Efectos
Exteriores	Productos de combustión.	Monóxido de carbono.	Contaminación exterior (tráfico, garajes).  Combustión del tabaco.	Gas tóxico no detectable por los sentidos.  Disminuye la capacidad de transporte de oxígeno a las células.	Dolores de cabeza.  Disminución de la agudeza visual.  Irregularidades en el funcionamiento cardiaco.
		Dióxido de carbono.	Los ocupantes, debido a la respiración.	Combustión de productos que contienen carbono.	Dolor de cabeza.  Aturdimiento.  Asfixia.



		Óxidos de azufre.	Contaminación exterior.	Oxidación de los compuestos de azufre.	Irritación de la piel, ojos y mucosas.  Constricción de las vías respiratorias altas.
		Óxidos de nitrógeno.	Contaminación exterior.	Se forman al reaccionar oxígeno y el nitrógeno atmosférico con las altas temperaturas de la combustión.	Irritantes de la nariz, garganta y ojos.
		Humo de tabaco.			Irritación de las vías respiratorias.  Incremento de las enfermedades respiratorias.  Acción carcinógena.
Interiores	Productos de combustión.	Fibras: asbesto o amianto.	Aislantes térmicos, eléctricos y acústicos.  Cemento, papel y textiles.	Son silicatos minerales que presentan resistencia al fuego.	Cancer de pulmón.
		Fibra de vidrio.	Deterioro o erosión de aislantes.  Contaminación exterior.	Elemento sustitutivo de las fibras de amianto.	Irritación de la piel.
		Compuestos químicos orgánicos.	Materiales aislantes, pinturas, colas, barnices, detergentes, insecticidas, etc.		



		Formaldehído, tolueno, xileno, etilbenceno, hidrocarburos aromáticos y clorados.			Anestésicos y narcóticos del sistema nervioso central.
		Radón.	Infiltración en los edificios a través de las grietas de los cimientos.	Es un gaseoso radiactivo que en su desintegración emite partículas alfa.  Se encuentra en zonas graníticas y en yacimientos de fosfatos.	Deterioro de los tejidos.  Cancer.
	Otros contaminantes.	Ozono.	Generadores de ozono.  Fotocopiadoras.  Lámparas de luz ultravioleta.  Limpiadores electrostáticos del aire.		Irritante de las vías respiratorias, mucosas y pulmón.
		Metales y compuestos metálicos.	Contaminación externa debida al tráfico.		

Fuente: Gutiérrez García, Juan Manuel. *Ergonomía y psicología en la empresa* 2001.

### Contaminantes biológicos:

La mayor parte de los agentes infecciosos son generados en los interiores, de los edificios o de los vehículos, por los propios ocupantes y son transmitidos al ambiente cuando hablamos, tosemos o estornudamos. Estos agentes infecciosos encuentran su medio ideal de cultivo en la acumulación de suciedad y en los escapes o estancamientos de agua, donde encuentran alimento, temperatura y humedad necesarios para desarrollarse y desde los que pasan al ambiente.

Como fuente de contaminación y de diseminación de este tipo de agentes tenemos los conductos del sistema de ventilación, los humidificadores, las torres de refrigeración y las



unidades de refrigeración.

El suelo también es fuente de contaminación, ya que los organismos patógenos que en él se encuentran pasan al ambiente y de aquí a los espacios interiores.

Los sistemas de ventilación contribuyen al deterioro de la calidad del aire interior. La finalidad de un sistema de ventilación es la de permitir la entrada controlada de aire fresco a un espacio cerrado para poder regular las condiciones climáticas. Algunos sistemas de ventilación emplean la recirculación del aire, con lo que el aporte de aire no es fresco, y otros utilizan aire fresco al 100% en su circulación. Cuando el aire que se recircula no se renueva, los olores y humos se mantienen en la estancia climatizada. En todo sistema de ventilación, lo primero que se produce es la entrada de aire fresco (aire de ventilación o renovación). Este aire se mezcla con parte del aire interior y esta mezcla pasa por diferentes dispositivos hasta que esté preparada para ser distribuida por todo el edificio o por el interior de un vehículo. Una vez que el aire está acondicionado se distribuye a todas las partes del edificio o vehículo mediante una red y mediante una red diferente es extraído y conducido al sistema principal, en donde una parte será expulsado al exterior y otra será recirculado.

Los focos de contaminación en zonas concretas de la instalación se pueden producir por:

- Mantenimiento deficiente de la instalación.
- La baja eficacia de retención de los filtros, favoreciendo el paso de materia particulada que se acumula en otras zonas del sistema.
- Estancamiento de agua que junto a la suciedad se convierte en el mejor caldo de cultivo de microorganismos.
- Descomposición de materiales de construcción y aislamiento empleados en el sistema de ventilación. La descomposición de estos materiales influye en el desarrollo de microorganismos.

El propio sistema de ventilación puede contribuir a:

- Introducir contaminantes exteriores. Razones de ello pueden ser:
  - Tomas de aire situadas a nivel del suelo (tráfico).
  - Tomas de aire próximas a focos de contaminación (extracciones de chimeneas, garajes, industrias cercanas).
  - Mala orientación de las tomas de aire (tomas de aire próximas o enfrentadas a la propia extracción de aire de la instalación).
  - Tomas de aire cercanas a las torres de refrigeración.
  - Viento orientado hacia las tomas de aire.
- Favorecer la concentración de contaminantes. El régimen de alimentación del propio sistema de ventilación condiciona el grado de pureza del aire interior. Si el sistema

de ventilación trabaja con aire 100% recirculado, no solo no se eliminan los contaminantes, sino que contribuyen a aumentar su concentración. Con este aire recirculado, los contaminantes generados en un lugar concreto pueden afectar al resto de los ocupantes del edificio (en el vehículo todos comparten el mismo espacio de aire, así pues no influye más negativamente).

- Crear zonas a las que no llega la ventilación. El diseño incorrecto de los sistemas de ventilación puede contribuir a la formación de ambientes en los que el aire no es limpio. Ello puede ser debido a:
  - Mala ubicación de difusores y retornos.
  - Tamaño inadecuado de difusores.
  - Número insuficiente de difusores y retornos.
  - Excesiva proximidad entre los difusores de aire fresco y los retornos de aire contaminado.

Las medidas de control que se pueden llevar a cabo para garantizar la salubridad del aire que estamos introduciendo en un edificio o vehículo se pueden resumir en acciones sobre el foco emisor del contaminante, teniendo en cuenta que éste puede ser tanto interior como exterior, y en acciones sobre el medio en el que se dispersa el contaminante.

---

### **MEDIDAS DE CONTROL PARA GARANTIZAR SALUBRIDAD DEL AIRE EN UN EDIFICIO O VEHÍCULO**

---

Acción sobre el foco emisor	Exterior	Ubicar las tomas de aire exterior en las zonas altas de los edificios, y en el caso de vehículos en un lugar suficientemente alejado del suelo (foco de contaminantes).
		Tener presentes las posiciones de las tomas de aire exterior respecto de extracciones o focos.
		No olvidar la dirección predominante del viento en la zona.
	Interior	Selección cuidadosa de materiales y productos, eligiendo los de menor nocividad.
		Limpieza y sustitución periódica de las unidades de filtración del aire.
		Limpieza y mantenimiento de zonas de la instalación implicadas en la posible contaminación del aire (unidades de climatización, torres de refrigeración, humidificadores).
Acción sobre el medio		Adecuación de la cantidad de aire fresco suministrado en función del número de ocupantes.
		Diseño correcto de los difusores y extracciones.

---

## 8.5. ERGONOMÍA GEOMÉTRICA: ESPACIOS DE TRABAJO

### 8.5.1. SUPERFICIES DE TRABAJO

Los efectos confusos sobre la superficie del espacio de trabajo a cargo del trabajo manual que ha de llevarse a cabo, se ilustran mediante los resultados de algunas investigaciones antropométricas efectuadas por Dempster. Algunas de sus investigaciones comprendían el análisis de fotografías de los perfiles de la mano a medida que ésta se movía sobre una serie de planos frontales espaciados a intervalos de 15 cm. Se utilizaron ocho tipos diferentes de agarre manual, en los que la mano, al asir un instrumento manejable, estaba en una de ocho orientaciones fijas (supina, prona, invertida y según ángulos específicos), pero la mano podía desplazarse libremente sobre el plano en cuestión. Se resumieron los datos medios obtenidos de 22 hombres, a fin de caracterizar las diferentes áreas funcionales del espacio tridimensional de los individuos, y se desarrollaron *cinetosferas* para cada tipo de agarre mostrando gráficamente los perfiles medios de los trazos, a medida que se los fotografiaba desde cada uno de los tres ángulos: desde arriba (transverso), desde el frente (corona) y desde el lado (sagital). Aunque no se ilustran aquí las cinetosferas obtenidas para los diferentes tipos de agarre, basta decir que eran sustancialmente diferentes, si bien se combinaban para formar *estrofosferas*.

Algunas veces las personas se encuentran trabajando o moviéndose en o a través de espacios restringidos o embarazosos (como podría ser el de un astronauta al pasar por una escotilla). Para determinados tipos de espacios restringidos, se han conseguido datos de antropometría dinámica que nos proporcionan unos valores mínimos. Nótese que las dimensiones facilitadas incluyen aquellas que son aplicables a individuos con vestimentas pesadas. En la mayoría de los casos, tales vestimentas añaden de 10 a 15 cm. y en el caso de una escotilla vertical deberían añadirse 25 cm a las exigencias de espacio.

Dentro del volumen de un espacio de trabajo, las consideraciones más específicas del diseño del área de trabajo se refieren a las superficies horizontales (dimensiones, perfiles, altura...), verticales e inclinadas (dimensiones, posiciones, ángulos...). Estas características de la situación en el trabajo deberían determinarse, preferentemente, sobre la base de las consideraciones antropométricas de las personas que habrán de utilizar las ayudas en cuestión.

Muchos tipos de actividades manuales se efectúan sobre superficies horizontales, tales como bancos de trabajo, pupitres, mesas y mostradores de cocina. Por lo que respecta a tales superficies de trabajo, Barnes propuso las áreas *normal* y *máxima* basándose en mediciones sobre 30 sujetos.

- Área normal: Es el área que puede alcanzarse con una extensión del antebrazo, manteniendo la parte superior del brazo en su posición natural lateral.

- Área máxima: Es el área que puede alcanzarse al extender el brazo a partir del hombro.

Sin embargo, investigaciones afines, realizadas por Squires han servido como base para proponer un perfil algo diferente de la superficie de trabajo que tiene en cuenta la interrelación dinámica del movimiento del antebrazo en cuanto el codo también se mueve. El área que queda así circunscrita<sup>46</sup> se superpone al área propuesta por Barnes. El hecho de que el área normal de trabajo propuesta por Barnes goce de una amplia aceptación indica, probablemente, que resulta bastante adecuada, aunque el área, algo más baja de la propuesta, tiende a corresponder bastante mejor con las realidades dinámicas antropométricas.

#### 8.5.1.1. SUPERFICIES DE TRABAJO. DISTANCIAS.

Área de trabajo horizontal:

Todos los materiales, herramientas y equipos deben ser colocados en la superficie de trabajo como sigue:

- Área 1: Hasta 40 cm. Área de trabajo habitual.
- Área 2: De 40 a 60 cm. Actividades cortas, tal como recogida de material.
- Área 3: De 60 a 90 cm. Actividades que se realizan con poca frecuencia, cuando el área 2 está prácticamente llena.

Altura de trabajo:

- Área 1: De 10 a 12 cm. sobre el nivel del codo<sup>47</sup>. Trabajo que exige una alta precisión visual.
- Área 2: De 5 a 7 cm. sobre el nivel del codo. Trabajo que exige apoyo manual.
- Área 3: Ligeramente por debajo del nivel del codo. Trabajo que exige poder mover libremente las manos.
- Área 4: De 10 a 30 cm. por debajo del nivel del codo. Manejo de materiales pesados.

Si el trabajo incluye diferentes demandas, la altura de trabajo se determinará por la que sea más exigente.

Espacio para las piernas:

- Trabajo sentado:
  - Anchura recomendada: 60 cm.

---

<sup>46</sup> La curva resultante se denomina *Epicicloide prolata*.

<sup>47</sup> Nivel del codo: Altura del codo con el brazo en posición relajada.

- Profundidad recomendada: 45 cm. a nivel de rodillas y 60 cm. a nivel de suelo.
- Trabajo de pie:
  - Espacio para el pie mínimo de 15 cm. de profundidad y altura.
  - Espacio libre en la parte posterior de 90 cm.

Campo visual:

- Distancia visual: Debe ser proporcional al tamaño del objeto de trabajo.
  - Trabajos con demanda especial: De 12 a 25 cm.
  - Trabajo con exigencia visual (costura, dibujo...): De 25 a 35 cm.
  - Trabajo normal (lectura, trabajo con torno...): De 35 a 50 cm.
  - Trabajo con escasa demanda: > 50 cm.
- Ángulo de visión: Los objetos que tengan que ser observados más frecuentemente, deben situarse en frente del trabajador. El ángulo de visión recomendado (medio desde el nivel horizontal de la vista) varía entre 15 y 45°, dependiendo de la postura de trabajo.
  - Posición de inclinación hacia atrás: 15°.
  - Posición de inclinación hacia delante: 45°.

## 8.5.2. TRABAJO SENTADO

El amplio espectro de tareas realizadas por personal sentado ante mesas, pupitres y bancos de trabajo, además de la enorme variedad de diferencias apropiada a tales superficies, hacen que sea necesario el estudio de los alcances y las distancias en estas posiciones. Así pues, teniendo en cuenta la estructura del cuerpo y la biomecánica, conviene estudiar las superficies de trabajo y además, la situación de los instrumentos u objetos que deben utilizarse continuamente. Estos instrumentos deberían estar a un nivel tal que los brazos pudieran colgar de una forma relativamente natural, con una posición relajada del hombro y manteniendo con el codo, tal como dicen Floyd y Roberts, una relación *satisfactoria* con la superficie de trabajo. Por lo general, esto significa que el antebrazo debería mantenerse, aproximadamente, horizontal o ligeramente inclinado hacia abajo cuando se realizan las tareas manuales más simples. Cuando la superficie de trabajo exige que la parte superior del brazo esté algo más alta que la altura del codo en su posición relajada, los costes metabólicos del trabajo tienden a aumentar<sup>48</sup>. Este principio nos llevaría a suponer que, por lo general, las superficies de trabajo deberían ser algo más bajas que lo que refleja la práctica cotidiana. Por lo que respecta a la altura de los pupitres, las alturas más corrientes se han reducido de unos 76 cm. en 1958 a unos 72

---

<sup>48</sup> Tichauer

cm. en 1970. Y según datos antropométricos, se debería realizar una nueva reducción de la altura de los pupitres hasta 68,5 cm., sin embargo, también se podrían fabricar pupitres de alturas ajustables entre los 58 y 76 cm.

En caso de alturas ajustables de superficie de trabajo, el diseño se apoya sobre la base de tres factores: las diferencias individuales en cuanto a dimensiones físicas, las diferencias individuales en cuanto a preferencias, y las diferencias en cuanto a trabajos que han de llevarse a cabo. A este respecto, Ward y Kirk efectuaron una estadística de las preferencias de las amas de casa británicas respecto a las alturas de superficie de trabajo cuando realizaban tres diferentes tipos de tareas.

Tipo de tarea	Nivel con relación al codo		
	Más bajo	Igual	Más alto
A. Trabajar por encima de la superficie: pelar verduras, cortar pan...	54%	14%	32%
B. Trabajar en la misma superficie: untar con mantequilla, picar ingredientes...	16%	11%	73%
C. Ejercer presión: planchar, amasar...	41%	9%	50%

Preferencias de las amas de casa británicas respecto a las alturas de superficie de trabajo.

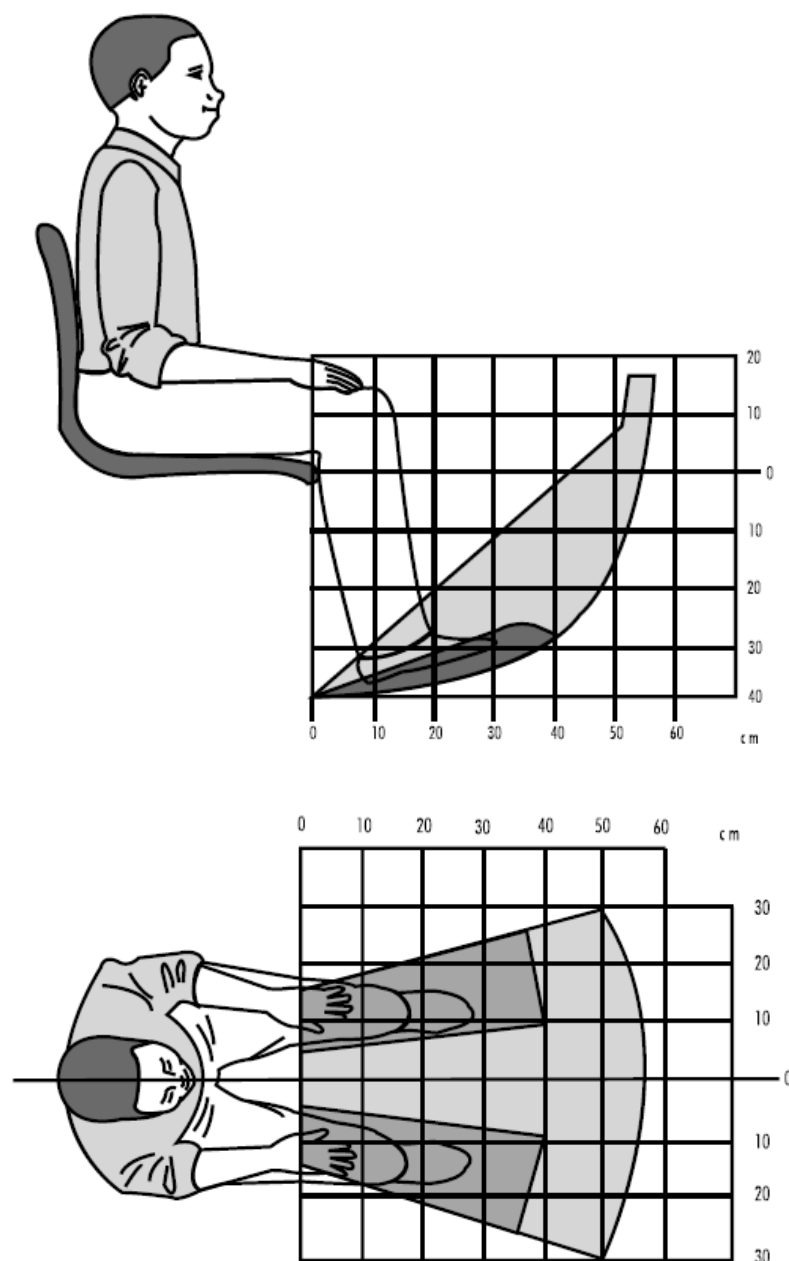
Las implicaciones de la naturaleza de la tarea respecto a la altura de la superficie de trabajo fueron acentuadas posteriormente por Ayoub quien ofrece las siguientes pautas para tres tipos de tareas, basándose en dimensiones antropométricas medias:

Tipo de tarea	Hombres (cm)	Mujeres (cm)
a. Trabajo de exactitud	99 - 105	89 - 95
b. Trabajo de precisión	89 - 94	82 - 87
d. Escribir	74 - 78	70 - 75
e. Curso de trabajo medio	69 - 72	66 - 70

Alturas de superficie de trabajo dependiendo del tipo de tarea.

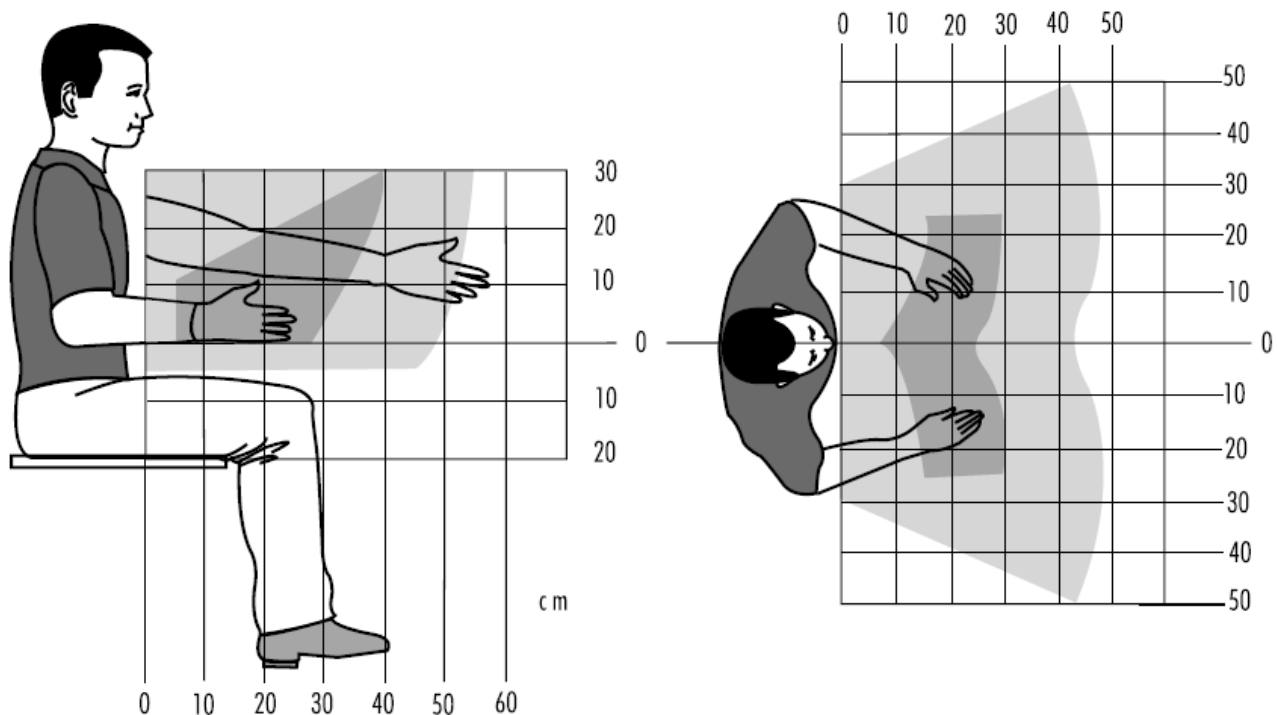
En general están muy relacionadas con la altura de la superficie de trabajo; la altura del asiento, el espesor de la superficie de trabajo y el grosor del muslo. Las combinaciones de variables hacen prácticamente imposible el diseñar una superficie de trabajo fija y una disposición del asiento que fueran perfectamente amoldables a todas las personas de todos los tamaños. Por lo tanto, siempre que sea posible, deberían preverse algunas características ajustables, tales como la altura del asiento, la posición del pie (mediante reposapiés), o la altura de la superficie de trabajo. A este respecto, la Western Electric Company hizo una interesante innovación y es que se ajustó la altura de la superficie de trabajo mediante un control activado electrónicamente. También adaptó los asientos en cuanto a altura y respaldo (altura, ángulo, grado de rigidez...), **tal y como se puede** hacer en la actualidad en la mayoría de las sillas de trabajo.

En el trabajo sentado, se tiene una mejor estabilidad y se gasta menos energía que en el trabajo de pie, pero el espacio de trabajo se reduce, especialmente el destinado a los pies. Sin embargo, es mucho más sencillo manejar los pedales estando sentado porque es necesario transferir sólo una pequeña parte del peso corporal al suelo. Si la dirección de la fuerza ejercida por el pie apunta en parte o en gran medida hacia adelante, debe facilitarse un asiento con un respaldo que permita ejercer más fuerza con el pie. Un ejemplo típico de esto es la colocación de los pedales de un automóvil, que están situados delante del conductor, más o menos por debajo de la altura del asiento. En la siguiente figura se muestra esquemáticamente las posiciones que pueden ocupar los pedales que maneja un operador sentado. Nótese que las dimensiones específicas de ese espacio dependerán de la antropometría del operador real.



Espacio normal y preferente para los pies (medidas en cm.).

El espacio para situar los controles que se operan manualmente se encuentra sobre todo delante del cuerpo, dentro de un contorno más o menos esférico que está centrado con respecto al codo, al hombro o a algún punto que se encuentra entre estas dos articulaciones. La figura siguiente muestra un esquema del espacio en el que pueden situarse los controles. Desde luego, sus dimensiones específicas dependerán de la antropometría de los operadores.



Espacio normal y preferente para las manos (medidas en cm.).

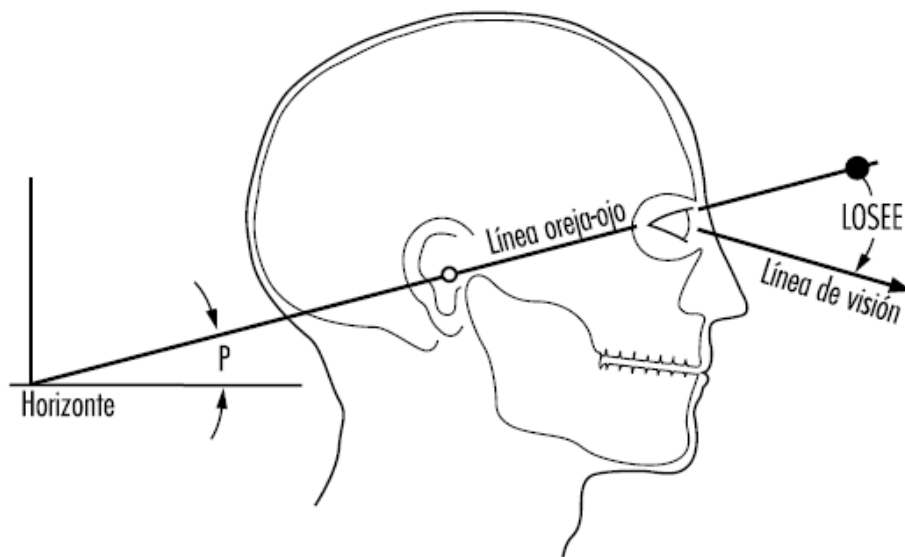
El espacio para los dispositivos de indicación y los controles a los que hay que mirar está delimitado por una circunferencia parcial situada delante de los ojos y centrada con respecto a éstos. Así, la altura de referencia para los dispositivos de indicación y los controles dependerá de la altura de los ojos del operador sentado y de la posición del tronco y del cuerpo. La situación preferida para el objetivo visual que se encuentre a menos de un metro de distancia estará claramente más allá de la altura de los ojos y dependerá de la cercanía del objetivo y de la postura de la cabeza. Cuanto más cerca esté el objetivo, más abajo habrá que situarlo, preferiblemente dentro o cerca del plano medial (sagital medio) del operador.

Es conveniente describir la postura de la cabeza utilizando la *línea oreja-ojo*<sup>49</sup> que, en una vista lateral, va desde la oreja derecha a la unión de las pestañas del ojo derecho, aunque la cabeza no esté inclinada (las pupilas quedan en el mismo nivel horizontal en una vista

<sup>49</sup> Kroemer 1993



frontal). Se suele decir que la cabeza está *erguida* o *levantada* cuando el ángulo de inclinación  $P$  (véase figura siguiente) entre la línea oreja-ojo y el horizonte es de aproximadamente  $15^\circ$ , con los ojos por encima de la línea de la oreja. La colocación preferente de los blancos visuales es de  $25^\circ$  a  $65^\circ$  por debajo de la línea oreja-ojo (*LOSEE* en la figura siguiente), aunque se debe tener en cuenta que la mayoría de la gente prefiere valores más bajos para blancos más cercanos. Aunque haya grandes variaciones en cuanto a ángulos preferidos de la línea de visión, la mayoría de las personas, especialmente a medida que se hacen mayores, prefieren observar objetivos más cercanos con ángulos *LOSEE* mayores.



Línea oreja-ojo.

### 8.5.3. TRABAJO DE PIE

Algunas de las evidencias experimentales relacionadas con la altura de la superficie de trabajo para personas que trabajan de pie, proceden de un estudio efectuado por Eliis. Utilizando un test de manipulación que consistía en hacer girar discos de madera, varió la altura de la superficie de trabajo en relación con la distancia desde el suelo a la punta de los dedos (expresada en cm.) con los siguientes valores: 66, 80, 93, 107, 120, 134. La diferencia de 107 cm. entre el suelo y la punta de los dedos fue el óptimo para la velocidad de la ejecución, resultando casi satisfactoria la diferencia de 93 cm. Estas dos medidas representaban unas distancias por debajo de la altura del codo de 7,0 y 20,8 cm. respectivamente, y conducían a la conclusión de, que para una tarea que debe realizarse de pie la superficie de trabajo normalmente debe estar un poco por debajo de la altura del codo. Barnes propone de 5 a 10 cm. por debajo del codo para montajes con luz artificial o tareas de manipulación semejantes. Por lo que respecta a la altura por encima del suelo, representarían unos valores medios de unos 107 a 81 cm., para hombres, y de unos 97 a 84 cm. para mujeres.

Este promedio obtenido por las mujeres, corresponde relativamente bien con las preferencias de altura de trabajo expresada por la muestra de mujeres británicas mencionadas anteriormente (Ward y Kirk). Las alturas medias preferidas para superficies de trabajo y para los tres mismos tipos de tarea mencionados anteriormente se citan a continuación:

<b>Tipo de tarea</b>	<b>Altura preferida para La superficie de trabajo (de pie)</b>
<b>A. Trabajar por encima de la superficie: pelar verduras, cortar pan...</b>	87,9 cm.
<b>B. Trabajar en la misma superficie: untar con mantequilla, picar ingredientes...</b>	90,9 cm.
<b>C. Ejercer presión: planchar, amasar...</b>	87,6 cm.

Alturas preferidas de superficie de trabajo (de pie) dependiendo del tipo de tarea.

Todos estos valores están unos cuantos centímetros por debajo de la altura media del codo de estas mujeres, que es de unos 100 cm. En un estudio posterior, Ward utilizó cuatro métodos para fijar las alturas de superficie de trabajo para mujeres que estuviesen realizando diversas tareas en la cocina. Las alturas eran de 76, 84, 91 y 99 cm. Los métodos utilizados fueron la electromiografía, la antropometría, la determinación del *centro de gravedad* y las preferencias expresas.

Una posterior indicación del hecho de que la naturaleza de la actividad influye sobre la altura deseable de la superficie de trabajo, queda reflejado en las normas propuestas por Ayoub para los tres tipos de tareas siguientes (basadas sobre dimensiones medias):

<b>Tipo de tarea</b>	<b>Hombres (cm)</b>	<b>Mujeres (cm)</b>
a. Trabajo de precisión, codos apoyados.	109 - 119	103 - 113
b. Trabajo de montaje ligero.	99 - 109	87 - 98
c. Trabajo pesado.	85 - 101	78 - 94

Rango de alturas de superficie de trabajo (de pie) dependiendo del tipo de tarea y del sexo del trabajador.

El control de un pedal por un operador que está de pie debería ser necesario sólo de forma ocasional, ya que de otro modo, la persona tiene que pasar mucho tiempo apoyada únicamente sobre un pie, mientras el otro acciona el pedal. Obviamente, el control simultáneo de dos pedales por parte de un operador que está de pie es prácticamente imposible. Mientras el operador está de pie, el espacio para colocar los pedales se limita a una pequeña zona situada por debajo del tronco y ligeramente delante del mismo. La posibilidad de caminar un poco proporcionaría más espacio para colocar los pedales, pero no resulta práctica en la mayoría de los casos debido a la distancia que hay que recorrer.

La colocación de los controles manuales para un operador que permanece de pie supone más o menos la misma zona que para un operador sentado, aproximadamente un semicírculo delante del cuerpo, con el centro cerca de los hombros del operador. El área

para la colocación de dispositivos visuales también es similar a la adecuada para un operador sentado, es decir, un semicírculo centrado con respecto a los ojos del operador, prefiriéndose la sección inferior de dicha esfera. Los emplazamientos idóneos para los dispositivos de indicación y para los controles que tienen que estar a la vista dependerán de la postura de la cabeza.

La referencia de la altura de los controles es la altura del codo del operador cuando la parte superior del brazo cuelga del hombro, sin apoyarse. La altura de los dispositivos de indicación y de los controles a los que debe mirar deberá deducirse por la altura de los ojos del operador. Ambos dependen de la antropometría del operador, que puede ser bastante diferente en una persona alta y en una baja, en un hombre y una mujer, o en personas de distinto origen étnico.

#### 8.5.4. LA CIENCIA DE SENTARSE

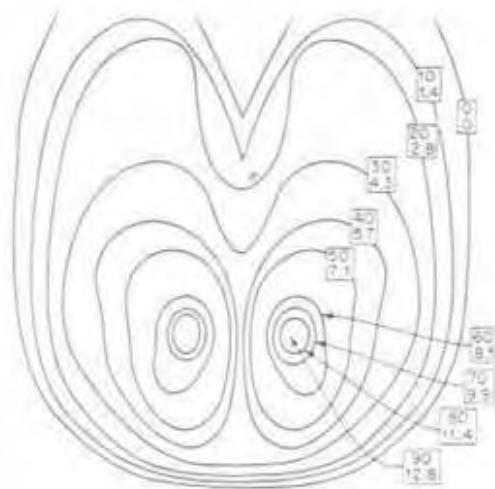
Ya sea en el trabajo, en casa o en el coche, las personas pasan la mayor parte de su vida sentadas. Las sillas y asientos cubren totalmente la escala de la comodidad, variando esta dependiendo de actividad requerida. De esta manera, nunca será igual de cómoda una silla destinada a una sala de cine que una puesta en un aula universitaria.

Así pues, la comodidad relativa y la utilidad funcional de sillas y asientos son la consecuencia de su diseño físico en relación con la estructura física y biomecánica del cuerpo humano. Los usos de sillas y asientos requieren, evidentemente, diseños diferentes, y el conjunto de diferencias individuales complica el problema del diseño. Hay determinadas líneas generales que pueden ayudar a realizar diseños que resulten convenientemente óptimos para los propósitos que se tengan en mente. Algunas de tales líneas maestras pertenecen a Floyd y Roberts y a Kroemer y Robinette. Estas líneas maestras incluyen: la altura del asiento, la distribución del peso, la profundidad y anchura del asiento, la estabilidad del tronco, los cambios de postura y los diferentes usos del asiento.

- **Altura del asiento:** A fin de evitar una presión excesiva sobre el muslo por el contacto con la parte delantera del asiento, esta parte delantera del asiento no debería ser superior a la distancia desde el suelo al muslo cuando se está sentado, es decir, la altura poplítea. Esta dimensión debería ser la generalmente elegida para acomodarse a todos los individuos que superasen el porcentaje. Al diseñar un asiento en base a un percentil bajo, puede complicar a los percentiles altos, mediante una reacción en cadena que empieza en el ángulo de la rodilla y puede originar que el individuo en cuestión se siente con su área lumbar de la espalda en posición convexa antes que cóncava. Teniendo en cuenta el hecho de que los tacones añaden más de un par de cm. a los valores del porcentaje, más en el caso de las mujeres, se ha convertido en una práctica bastante corriente utilizar asientos

de una altura de unos 43 cm. Esto encaja bastante bien con la recomendación hecha por Grandjean de 43 cm. para sillas de finalidades múltiples que tengan el asiento inclinado. Siempre que sea factible, naturalmente, deberían prepararse asientos de alturas ajustables, entre los 38 y los 48 cm., a fin de que se pudiesen acomodar personas de diversas alturas.

- Distribución del peso: Diversos estudios sobre los asientos han llegado a la conclusión de que las personas están, por lo general, más cómodas cuando el peso del cuerpo es sostenido fundamentalmente por las tuberosidades isquiales. Estas tuberosidades son las estructuras óseas de las nalgas y sus características anatómicas parecen estar preparadas para desempeñar responsabilidades de sostenimiento de peso. En la figura inferior se muestra lo que se considera como una deseable distribución del peso de una persona que esté conduciendo un vehículo. Cada una de las líneas representa un perfil de igual presión, que va desde la presión de las tuberosidades isquiales de 90 gramos/cm<sup>2</sup> a los perfiles más externos de 10 gramos/cm<sup>2</sup>.



Representación de lo que se considera una distribución deseable del peso sobre las nalgas, mostrando contornos de igual presión desde las tuberosidades isquiales hasta la periferia.

- Profundidad y anchura del asiento: La anchura y profundidad de los asientos dependen del uso que se le dará al asiento, ya sea una silla de uso múltiple, una silla de mecanógrafa, un butacón de cine... Sin embargo, en términos generales, la profundidad debería ser la más indicada para personas pequeñas, para dejar una separación entre pierna y pantorrilla y reducir la presión de los muslos. Y la anchura la más indicada para personas gruesas. Sobre la base de los rangos de comodidad para sillas de diseños diferentes, Grandjean recomienda que la anchura de la superficie del asiento no sea inferior a los 40 cm., aunque tal anchura, sería la solución del problema de los asientos individuales, si las personas están alineadas en filas, o los asientos están uno junto a otro, codo con codo, han de tenerse en cuenta los valores de la anchura, puesto que incluso los valores del percentil 95, de



45 a 50 cm., producen incomodidad. En cualquier caso, éstos son los valores mínimos aproximados para sillas provistas de brazos.

- Estabilidad del tronco: La estabilidad del tronco viene facilitada en gran parte por los diseños que procuran que, en primer lugar, el peso quede sustentado por el área que circunda las tuberosidades isquiales. A este respecto, el ángulo del asiento y el ángulo de la espalda desempeñan papeles importantes, junto con la curvatura del respaldo del asiento. Sin embargo, tales aspectos se entremezclan con la función del asiento.

La estabilidad del tronco también puede verse favorecida por el uso de brazos e incluso por el hecho de dejar descansar los brazos sobre pupitres o sobre áreas de superficies de trabajo, pero esto también debería hacerse a niveles que permitieran que los brazos colgasen libremente y que los codos se mantuviesen en una posición natural.

- Cambios de postura: Aunque se han comprobado asientos mediante los cambios de postura que las personas suelen hacer en ellos, esto no significa que el objetivo del diseño de un asiento deba ser el de reducir la movilidad a cero. Por lo general, una silla o un asiento deben permitir una movilidad moderada y cambios de postura.

## 8.6. ERGONOMÍA TEMPORAL

### 8.6.1. FATIGA GENERAL

La palabra *fatiga* se utiliza para indicar diferentes condiciones que causan, todas ellas, una disminución de la resistencia y de la capacidad de trabajo. El uso tan diverso del concepto de fatiga ha dado como resultado una confusión casi caótica, lo que hace necesario aclarar un poco las ideas actuales. Durante mucho tiempo, la fisiología ha distinguido entre la fatiga muscular y la fatiga general. La primera es un fenómeno doloroso agudo localizado en los músculos; la fatiga general, en cambio, se caracteriza por una disminución del deseo de trabajar. La fatiga general es también conocida como *fatiga psíquica* o *fatiga nerviosa*.

La fatiga general puede deberse a diferentes causas, entre las que destacan las siguientes:

- Monotonía.
- Intensidad y duración del trabajo mental o físico y mental.
- Medio ambiente, clima, luz y ruido.
- Causas mentales: Responsabilidad, preocupaciones y conflictos.
- Enfermedad y dolor, nutrición.

El efecto es como si, a lo largo del día, todas las tensiones experimentadas se acumularan en el organismo, produciendo gradualmente una sensación de fatiga que va en aumento. Esta sensación hace que el individuo deje de trabajar y funciona como un preludio fisiológico del sueño.

La fatiga es una sensación saludable si el individuo puede acostarse y descansar. Sin embargo, si el individuo decide no hacer caso de esta sensación y se fuerza a seguir trabajando, la sensación de fatiga aumentará hasta convertirse en una situación molesta y, a la larga, más fuerte que el individuo. Esta experiencia cotidiana demuestra claramente el significado biológico de la fatiga, que tiene un papel importante en el mantenimiento de la vida, similar al de otras sensaciones como, por ejemplo, la sed, el hambre, el temor...

El descanso nos vacía de las tensiones que se nos han ido acumulando en el organismo y que nos han creado la fatiga. El fenómeno de descanso puede darse de forma normal si el organismo permanece tranquilo o si al menos una parte esencial del mismo no está sujeta a estrés. Esto explica lo importante que son los descansos de todo tipo durante la jornada, desde las pausas cortas durante el trabajo hasta el sueño nocturno. Es necesario, para una vida normal, alcanzar un cierto equilibrio entre la carga total soportada por el organismo y la suma de las posibilidades de descanso.



No existe una panacea para la fatiga, pero puede hacerse mucho para aliviar el problema si se presta atención a las condiciones generales de trabajo y al entorno físico en el lugar de trabajo. Por ejemplo, puede conseguirse mucho con una distribución adecuada de las horas de trabajo, la previsión de períodos de descanso adecuados, servicios de cafetería y salas de descanso. También debe proporcionarse a los trabajadores períodos adecuados de vacaciones pagadas. El estudio ergonómico del lugar de trabajo puede ayudar a reducir la fatiga al garantizar que los asientos, las mesas y los bancos de trabajo tengan las dimensiones adecuadas y que el flujo de trabajo esté correctamente organizado. Además, el control del nivel de ruido, el aire acondicionado, la calefacción, la ventilación y la iluminación pueden tener un efecto beneficioso para retrasar la aparición de la fatiga en los trabajadores.

La monotonía y la tensión también pueden compensarse con el uso controlado del color y la decoración del entorno, intervalos de música y, en ocasiones, descansos para ejercicios físicos en el caso de los trabajadores sedentarios. La formación adecuada de los trabajadores y, en particular, del personal supervisor y directivo también tiene un papel importante.

#### 8.6.2. ESTRÉS, TESIÓN, FATIGA Y RECUPERACIÓN.

Los conceptos de fatiga y recuperación en el trabajo humano están estrechamente relacionados con los conceptos ergonómicos de estrés y tensión<sup>50</sup>.

El estrés es la suma de todos los parámetros del sistema de trabajo que influyen sobre los trabajadores y que se perciben o se sienten principalmente a través del sistema receptor o que implican un trabajo del sistema efector. Los parámetros del estrés son el resultado de la tarea del trabajo (trabajo muscular o no muscular: los factores y dimensiones orientados hacia la tarea) y de las condiciones físicas, químicas y sociales bajo las que debe realizarse el trabajo (ruido, clima, iluminación, vibración, turnos de trabajo...: los factores y dimensiones orientados hacia la situación).

La intensidad, dificultad, duración y composición de los factores de estrés, es decir, la distribución simultánea y sucesiva de estos requisitos específicos, producen un estrés combinado en el que todos los efectos exógenos del sistema de trabajo actúan sobre el trabajador. Este estrés combinado puede superarse activamente o soportarse pasivamente, en especial dependiendo del comportamiento del trabajador. El enfoque activo conlleva actividades dirigidas hacia la eficacia del sistema de trabajo, mientras que el enfoque pasivo produce reacciones, voluntarias o involuntarias, que tienen como

---

<sup>50</sup> Rohmert 1984.

objetivo principal minimizar el estrés. La relación entre el estrés y la actividad está relacionada de forma decisiva con las características individuales y las necesidades del trabajador. Los principales factores que influyen son aquellos que determinan el rendimiento y están relacionados con la motivación y la concentración, que a su vez están relacionados con la disposición, que depende de las habilidades y aptitudes del trabajador.

El estrés relacionado con el comportamiento, que se manifiesta en ciertas actividades, produce distintas tensiones individualmente. Estas tensiones pueden manifestarse como una reacción de los indicadores fisiológicos o bioquímicos (como un aumento de la frecuencia cardíaca) o pueden ser perceptibles. Así, es posible clasificar las tensiones mediante una *escala psicofísica* que calcula la tensión tal como la percibe el trabajador. En un enfoque conductual, la existencia de tensiones también puede derivarse del análisis de una actividad. La intensidad con la que reaccionan los indicadores de la tensión (fisiológico-bioquímicos, conductuales o psicofísicos) depende tanto de la intensidad, duración y combinación de los factores de estrés como de las características individuales, la habilidad, las aptitudes y las necesidades del trabajador.

Aunque exista un nivel de estrés constante, los indicadores que se derivan de los campos de actividad, rendimiento y tensión pueden variar a lo largo del tiempo (efecto temporal). Estas variaciones temporales deben interpretarse como procesos de adaptación por parte de los sistemas orgánicos. Los efectos positivos producen una disminución de la tensión, mejorando la actividad o el rendimiento (por ejemplo, a través del entrenamiento). En el caso negativo, sin embargo, producen un aumento de la tensión, una disminución de la actividad o el rendimiento (fatiga o monotonía).

Los efectos positivos pueden actuar si se mejoran las habilidades y aptitudes disponibles en el propio proceso de trabajo, por ejemplo, cuando se supera ligeramente el umbral de la estimulación de entrenamiento. En cambio, es probable que aparezcan efectos negativos si se superan los llamados límites de resistencia<sup>51</sup> en el curso del proceso del trabajo. Esta fatiga reduce las funciones fisiológicas y psicológicas y esto puede compensarse a través de la recuperación.

Para restaurar los niveles de rendimiento originales, es necesario permitir períodos de descanso o al menos, períodos de menor estrés<sup>52</sup>.

Cuando el proceso de adaptación tiene lugar más allá de los umbrales definidos, el sistema orgánico utilizado puede sufrir daños hasta el punto de ocasionar una pérdida

---

<sup>51</sup> Rohmert 1984.

<sup>52</sup> Luczak 1993.





parcial o total de su función. La disminución irreversible de las funciones puede ocurrir cuando el estrés es demasiado elevado (daño agudo) o cuando la recuperación es imposible durante un período prolongado (daño crónico). Un ejemplo típico de este tipo de daño es la pérdida de audición producida por el ruido.

### 8.6.3. CARGA MENTAL DE TRABAJO. FATIGA MENTAL.

El concepto de carga mental de trabajo (CMT) está adquiriendo cada vez más importancia ya que las tecnologías modernas, semiautomáticas e informáticas pueden imponer mayores exigencias en cuanto a las capacidades humanas mentales o de procesamiento de la información, tanto en las tareas administrativas como de fabricación. De este modo, especialmente en el campo de análisis del trabajo, evaluación de los requisitos para un puesto determinado y diseño del puesto, el concepto de *carga mental de trabajo*, ha adquirido incluso más importancia que el de la carga física de trabajo tradicional.

La tensión mental es una consecuencia normal del proceso de enfrentarse a la carga mental de trabajo (CMT). Las cargas prolongadas o las exigencias de un trabajo demasiado intensas pueden llegar a causar, a corto plazo, situaciones de sobrecarga (fatiga) y subcarga (monotonía, hastío) y a largo plazo, incluso otras consecuencias como síntomas de estrés y enfermedades laborales. Se puede mantener, sin embargo, una regulación estable de la actividad mientras dure la tensión por medio de cambios en el estilo de trabajo (variando las estrategias de obtención de información y toma de decisiones), rebajando el nivel de objetivos que se desea conseguir (redefiniendo las tareas y reduciendo los estándares de calidad) o a través de un aumento compensatorio del esfuerzo psicofisiológico y una disminución posterior del esfuerzo durante el horario de trabajo.

Esta idea del proceso de tensión mental se puede conceptualizar como un proceso de regulación de la actividad durante la imposición de factores de carga, que incluyen no sólo los componentes negativos de la tensión mental, sino también los aspectos positivos del aprendizaje tales como la acumulación, la armonización y reestructuración y la motivación.

La fatiga mental se puede definir como un proceso reversible en el tiempo de disminución de la estabilidad de la conducta en el rendimiento, el estado de ánimo y la actividad después de un período prolongado de trabajo. Dicho estado es temporalmente reversible cambiando las exigencias del trabajo, las influencias del entorno o la estimulación; y completamente reversible a través de sueño.

La fatiga mental es una consecuencia de la realización de tareas con un alto nivel de dificultad, que implican, en su mayoría, el procesamiento de información o que tienen una duración muy prolongada. La *recuperación* de estas pérdidas lleva algún tiempo y no se produce de forma instantánea al cambiar las condiciones de la tarea, al contrario de lo que

ocurre con la monotonía. Los síntomas de fatiga se advierten a varios niveles de regulación de la conducta: desajuste en la homeostasis entre el entorno y el organismo, desajuste de los procesos cognitivos en las actividades dirigidas a la consecución de objetivos y pérdida de estabilidad en la motivación para la consecución de metas y en el nivel de rendimiento.

Se pueden identificar síntomas de fatiga mental en todos los subsistemas del sistema humano de procesamiento de la información:

- Percepción: disminución de los movimientos oculares, de la discriminación de señales y del umbral.
- Procesamiento de la información: ampliación del tiempo de decisión, errores de acción, incertidumbre en las decisiones, bloqueo, estrategias arriesgadas en las secuencias de acciones, alteración de la coordinación sensoriomotora.
- Funciones de la memoria: lentitud en el almacenamiento de la información en la memoria inmediata, alteraciones de los procesos de repetición de lo almacenado en la memoria a corto plazo, retrasos en la transmisión de información almacenada en la memoria a largo plazo y en el proceso de búsqueda de información.

#### Grados de fatiga mental:

La conocida fenomenología de la fatiga mental<sup>53</sup>, los métodos válidos para su valoración y la gran cantidad de resultados experimentales y estudios de campo disponibles, nos ofrecen la posibilidad de valorar los estados de fatiga mental mediante una escala ordinal<sup>54</sup>. Esta escala se basa en la capacidad del individuo para afrontar los cambios de conducta:

- Nivel 1: Rendimiento óptimo y eficaz: No hay síntomas de disminución del rendimiento, del estado de ánimo o del nivel de activación.
- Nivel 2: Compensación completa caracterizada por un aumento de la activación psicofisiológica periférica (por ejemplo, medida por un electromiograma de los músculos de los dedos), incremento perceptible del esfuerzo mental, aumento de la variabilidad de los criterios de actuación.
- Nivel 3: Compensación adicional a la descrita en el Nivel 2: Errores en la acción, sensación de fatiga, mayor actividad psicofisiológica (compensatoria) en los indicadores centrales (ritmo cardíaco, presión sanguínea).
- Nivel 4: Eficacia reducida, adicional a la descrita en el Nivel 3: Disminución de los

---

<sup>53</sup> Schmidtke 1966.

<sup>54</sup> Hacker y Richter 1984.

criterios de rendimiento.

- Nivel 5: Alteraciones funcionales aún mayores: Alteraciones en las relaciones sociales y de cooperación en el trabajo, síntomas de fatiga crónica, como la pérdida de calidad del sueño y el cansancio vital.

#### Prevención de la fatiga mental:

El diseño de la estructura de la tarea, el entorno, los períodos de descanso durante el trabajo y dormir el tiempo suficiente son los medios para reducir los síntomas de fatiga mental y para evitar que llegue a convertirse en crónica:

- Cambios en la estructura de las tareas: El diseño de las condiciones previas para el aprendizaje adecuado y la organización de las tareas es un medio de fomentar el desarrollo de unas estructuras eficaces de trabajo, pero es también esencial para evitar los desajustes de la carga mental (sobrecarga o subcarga):
  - Los obstáculos para el procesamiento de la información se pueden eliminar desarrollando representaciones internas de las tareas y organizando la información. El aumento de la capacidad cognitiva resultante ajustará las necesidades de información y los recursos de forma más eficaz.
  - Las nuevas tecnologías centradas en el ser humano, gracias a su alta compatibilidad entre el orden de la información presentada y la tarea<sup>55</sup> reducirán el esfuerzo mental necesario para recodificar la información y, en consecuencia, aliviarán los síntomas de fatiga y estrés.
  - Una coordinación equilibrada entre los diferentes niveles de regulaciones (en relación con las habilidades, reglas y conocimientos) puede reducir el esfuerzo y, lo que es más, aumentar la fiabilidad humana en la realización de las tareas<sup>56</sup>.
  - La formación de los trabajadores en secuencias de acciones encaminadas a la consecución de objetivos, antes de que se presenten los problemas, dará mayor sentido al esfuerzo mental al convertir el trabajo en algo más claro, más previsible y más controlable y disminuirá su nivel de activación psicofisiológica.
- Implantación de sistemas de pausas breves en el trabajo: El efecto positivo de estos períodos de descanso depende de que se cumplan ciertas condiciones previas. Un mayor número de descansos cortos es más eficaz que un menor

---

<sup>55</sup> Norman 1993.

<sup>56</sup> Rasmussen 1983.



número de descansos largos, los efectos dependen de la existencia de un horario fijo y, por tanto, conocido de antemano. El contenido de los descansos debe compensar las necesidades físicas y mentales.

- Tiempo suficiente de descanso y sueño: Programas especiales de atención al trabajador y técnicas de gestión del estrés, pueden reforzar la capacidad de relajación y prevenir el desarrollo de la fatiga crónica<sup>57</sup>.

#### 8.6.4. VIGILANCIA.

El concepto de vigilancia se refiere al estado de alerta del observador humano en labores que requieren el registro y el procesamiento de señales. Las características esenciales de las tareas de vigilancia son su duración, relativamente prolongada, y la necesidad de detectar estímulos (señales) infrecuentes e imprevisibles en un escenario (fondo) en el que se producen otros estímulos y sucesos.

El prototipo de tarea en que se basan los trabajos de investigación es el de los operadores de radar. A lo largo de la historia, sus resultados, aparentemente insatisfactorios durante la segunda Guerra Mundial, han supuesto un reto en el estudio de la vigilancia. Otra tarea que requiere vigilancia es el proceso de inspección industrial. En general, cualquier tipo de tarea de seguimiento que requiera la detección de señales relativamente infrecuentes conlleva el riesgo de fallos a la hora de detectar estos sucesos críticos y de reaccionar ante ellos.

Las labores de vigilancia componen un conjunto heterogéneo y varían en distintas dimensiones, a pesar de sus características comunes. Una dimensión obviamente importante es la tasa de estímulos generales, así como el índice de estímulos *blanco*. No siempre es posible definir una tasa de estímulos sin caer en la ambigüedad. Esto sucede con las tareas que requieren la detección de unos estímulos, que se presentan sobre unos estímulos de fondo, así como a la hora de detectar valores críticos en una tarea de seguimiento. Una distinción importante, aunque menos evidente, es la que existe entre las tareas de discriminación sucesiva y simultánea. En las tareas de discriminación simultánea tanto los estímulos *blanco* como los de fondo se presentan al mismo tiempo, mientras en las tareas de discriminación sucesiva, uno se presenta detrás del otro de forma que se plantean ciertos requisitos de memoria. Aunque la mayoría de las tareas de vigilancia requieren una detección de estímulos visuales, también se han estudiado otro tipo de estímulos. Los estímulos pueden restringirse a una sola posición espacial, o pueden proceder de fuentes diversas. Los estímulos *blanco* pueden diferir de los estímulos de

---

<sup>57</sup> Sethi, Caro y Schuler 1987.

fondo por sus características físicas, pero también por otras, más conceptuales. Naturalmente, la facilidad de detección de los estímulos blanco puede variar: algunos son fácilmente detectables, pero otros pueden resultar difíciles de discriminar de los estímulos de fondo. Los estímulos *blanco* pueden ser únicos o pueden existir en conjuntos, sin fronteras definidas que los diferencien de los estímulos de fondo, como sucede en muchas tareas de inspección industrial. La lista de dimensiones que diferencian a unas tareas de vigilancia de otras podría ampliarse, pero es suficiente para enfatizar la heterogeneidad de las tareas de vigilancia y los riesgos que conlleva la generalización de determinadas observaciones de conjunto.

## 8.6.5. ORGANIZACIÓN DE TIEMPOS

### 8.6.5.1. HORARIOS, TURNOS Y DESCANSOS.

La ergonomía temporal se aplica a los aspectos organizativos, buscando la distribución adecuada de los tiempos de trabajo. Específicamente de la duración de la jornada, de los horarios, los turnos, los descansos, los ritmos de trabajo, los tiempos máximos permisibles... Con una correcta organización se puede suprimir la fatiga que ocasiona una mala distribución de los tiempos de trabajo y además se baja la siniestralidad laboral.

El tiempo de trabajo es uno de los aspectos de las condiciones de trabajo que tiene una repercusión más directa sobre la vida diaria. El número de horas trabajadas y su distribución pueden afectar no sólo a la calidad de vida en el trabajo, sino a la vida extra laboral. En la medida en que la distribución del tiempo libre es utilizable para el esparcimiento, la vida familiar y la vida social, es un elemento que determina el bienestar de los trabajadores.

Dadas las características humanas, la actividad laboral debería desarrollarse durante el día, a fin de lograr una coincidencia entre la actividad laboral y la actividad fisiológica. Sin embargo, en algunas actividades es necesario establecer turnos de trabajo con horarios de trabajo que están fuera de los que sería aconsejable, ya sea por necesidades del propio servicio o por necesidades productivas o del proceso.

En un intento de definición de los distintos tipos de horario, habitualmente entendemos por tiempo de trabajo el que implica una jornada laboral de ocho horas, con una pausa para la comida, y que suele oscilar entre las 7 - 9 horas y las 17 - 19 horas. El trabajo a turnos supone otra ordenación del tiempo de trabajo: se habla de trabajo a turnos cuando el trabajo es desarrollado por distintos grupos sucesivos, cumpliendo cada uno de ellos una jornada laboral, de manera que se abarca un total de entre 16 y 24 horas de trabajo diarias. Existen las siguientes formas de organización:

- Sistema discontinuo: el trabajo se interrumpe normalmente por la noche y el fin de semana. Supone, pues, dos turnos, uno de mañana y uno de tarde.

- Sistema semi-continuo: la interrupción es semanal. Supone tres turnos, mañana, tarde y noche, con descanso los domingos.
- Sistema continuo: el trabajo se realiza de forma ininterrumpida. El trabajo queda cubierto durante todo el día y durante todos los días de la semana. Supone más de tres turnos y el trabajo nocturno.

Legalmente, en el Estatuto de los Trabajadores, se define el trabajo a turnos como: *Toda forma de organización del trabajo en equipo según la cual los trabajadores ocupan sucesivamente los mismos puestos de trabajo, según un cierto ritmo, continuo o discontinuo, implicando para el trabajador la necesidad de prestar sus servicios en horas diferentes en un período determinado de días o de semanas.* Asimismo se considera trabajo nocturno el que tiene lugar *entre las 10 de la noche y las 6 de la mañana*, y se considera trabajador nocturno al que *invierte no menos de tres horas de su trabajo diario o al menos una tercera parte de su jornada anual en este tipo de horario.*

En estudios realizados sobre el tema, se ha visto que las personas que trabajan a turnos demuestran una menor satisfacción con el horario y con el trabajo en general, que las personas que prestan sus servicios en jornada laboral diurna. Ello puede ser debido a diversas causas, pero, sin duda, una de ellas es la falta de adaptación debida a la alteración de los ritmos circadianos<sup>58</sup> y sociales; así como una deficiente organización de los turnos.

Por ello es importante tener en consideración las repercusiones que el trabajo nocturno tiene sobre la salud de los trabajadores, a fin de organizar los turnos convenientemente y de prever unas condiciones de trabajo adecuadas.

Los efectos negativos del turno de noche sobre la salud de las personas se dan a distintos niveles. Por una parte se ve alterado el equilibrio biológico, por el desfase de los ritmos corporales y por los cambios en los hábitos alimentarios. También se dan perturbaciones en la vida familiar y social. Desde el punto de vista ergonómico, es importante tener en cuenta estas consecuencias y diseñar el trabajo a turnos de manera que sea lo menos nocivo posible para la salud de aquellas personas que se encuentran en dicha situación.

---

<sup>58</sup> En la biología, los ritmos circadianos o ritmos biológicos son oscilaciones de las variables biológicas en intervalos regulares de tiempo.

Todos los animales, las plantas y probablemente todos los organismos muestran algún tipo de variación rítmica fisiológica (tasa metabólica, producción de calor, floración...) que suele estar asociada con un cambio ambiental rítmico.

El organismo humano tiene unos ritmos biológicos, es decir, que las funciones fisiológicas siguen unas repeticiones cíclicas y regulares. Estos ritmos suelen clasificarse en ultradianos, si son superiores a 24 horas; circadianos o nictamerales si siguen un ritmo de 24 horas; o infradianos, si su ciclo es inferior a las 24 horas.

Mejorar las condiciones del trabajo a turnos supone actuar a nivel organizativo y, aunque no existe el diseño de una organización de turnos óptima, pueden establecerse unos criterios para conseguir unas condiciones más favorables. La actuación debe basarse, principalmente, en intentar respetar al máximo los ritmos biológicos de vigilia-sueño y alimentación, así como las relaciones familiares y sociales.

La organización de los turnos de trabajo es un problema complejo, que requiere la consideración de distintas áreas:

- Los condicionamientos legales. La legislación existente sobre este tema está recogida en:
  - R.D. 1/1995, de 24 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores (BOE 29 marzo 1995). Se define el concepto de trabajo y trabajador nocturno. Establece que no deberá trabajarse en turno de noche más de dos semanas seguidas, salvo voluntariamente; que los trabajadores nocturnos deberán gozar de las mismas condiciones que el resto de los trabajadores en materia de protección de salud y seguridad, así como que los trabajadores nocturnos deberán tener la garantía por parte del empresario de que se realice una evaluación gratuita de la salud en períodos regulares. Los trabajadores a los que se les reconozcan problemas de salud ligados con el trabajo nocturno tienen derecho a ser destinados a un puesto diurno. Determina el periodo mínimo entre jornadas en 12 horas.
  - R.D. 1561/1995, de 21 de septiembre sobre jornadas especiales de trabajo (BOE 26 septiembre 1995). En el artículo 19 se prevé la posibilidad de acumular por períodos de hasta cuatro semanas el medio día de descanso semanal y de reducir el tiempo mínimo de descanso entre turnos hasta un mínimo de siete horas, previendo la compensación hasta 12 horas en los días siguientes.
  - Ley 31/ 1995 de Prevención de Riesgos Laborales. En el artículo 26, sobre protección a la maternidad, incluye como medida para prevenir posibles repercusiones sobre el embarazo o la lactancia, la no realización del trabajo nocturno o a turnos.
- Aspectos relacionados con la organización global. El sistema que se adopte debe adaptarse al tipo de empresa o servicio (estructura, tamaño, ubicación, servicios que cubre...), a las características de los distintos departamentos (tamaño, especialidad, saturación de demanda...), así como a las tareas que deben realizarse: Ya que no todas las tareas deben realizarse las 24 horas del día, es importante tener esto en cuenta, y diseñar las tareas en función de los turnos, dejando para las horas de la madrugada sólo aquellas tareas que sean

imprescindibles.

- Estructura de los recursos humanos. El horario debe adaptarse al número de trabajadores existente, presupuestos, niveles profesionales...

Teniendo en cuenta estos condicionantes, la organización de los turnos debe incluir entre sus objetivos la protección de la salud de los trabajadores. Para ello deberán seguirse las recomendaciones existentes a este respecto. Se debe emprender una política global en la que se consideren los siguientes factores:

- La elección de los turnos será discutida por los interesados sobre la base de una información completa y precisa que permita tomar decisiones de acuerdo con las necesidades individuales.
- Los turnos deberán respetar al máximo el ciclo de sueño, evitando que el turno de mañana empiece a una hora demasiado temprana. Los cambios de turno pueden situarse, por ejemplo, entre las 6 y las 7h. las 14 y las 15h. y las 22 y las 23h. Una variable que se debe tener en cuenta es la distancia entre el centro de trabajo y el domicilio de los trabajadores.
- Los turnos de noche y de tarde nunca serán más largos que los de mañana, preferiblemente serán más cortos.
- En cuanto a la duración de cada ciclo, actualmente se tiende a realizar ciclos cortos (se recomienda cambiar de turno cada dos o tres días), pues parece ser que, de esta manera, los ritmos circadianos apenas llegan a alterarse. Sin embargo, la vida de relación se hace más difícil con un ritmo de rotación tan cambiante, por lo que puede existir una contradicción entre el punto de vista fisiológico y las necesidades psicosociales de los individuos. Este es uno de los aspectos por los que el problema de la rotación es tan complejo y por lo que es necesario adaptarlo a las necesidades individuales y contar con la participación de los interesados.
- Aumentar el número de períodos en los que se puede dormir de noche: posibilidad de descanso después de hacer el turno de noche, acumular días de descanso y ciclos de rotación distintos a lo largo del año.
- Facilitar comida caliente y equilibrada, instalar espacios adecuados, prever tiempo suficiente para comer.
- Disminución del número de años que el individuo realiza turnos, limitación de edad... La OIT recomienda que a partir de los 40 años el trabajo nocturno continuado sea voluntario.
- Reducir, en lo posible, la carga de trabajo en el turno de noche. Programar aquellas actividades que se consideran imprescindibles, intentando evitar tareas que supongan una elevada atención en la franja horaria entre las 3 y las 6 de la madrugada.
- Dar a conocer con antelación el calendario con la organización de los turnos.



- Participación de los trabajadores en la determinación de los equipos.
- Mantener los mismos miembros en un grupo de manera que se faciliten las relaciones estables.
- Establecer un sistema de vigilancia médica que detecte la falta de adaptación y pueda prevenir situaciones irreversibles.
- Sentido de la rotación. Es posible establecer la rotación en dos sentidos: uno *natural*, mañana-tarde-noche, y uno *inverso*, noche-tarde-mañana. Sobre este punto no parece haber acuerdo, pues mientras unos autores defienden que con la rotación inversa<sup>59</sup> se favorece el descanso otros autores defienden que una rotación natural<sup>60</sup> es mejor para la recuperación de la fatiga.

Además de las recomendaciones sobre la organización de los turnos, individualmente es útil tener en cuenta una serie de consejos dirigidos a mejorar el sueño y que pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Desarrollar una estrategia de adaptación. Conseguir el soporte de familiares y amigos.
- Intentar conseguir espacios oscuros y silenciosos para dormir.
- Mantener un horario regular de comidas.
- Evitar ingerir comidas pesadas antes de acostarse.
- Evitar tomar alcohol, cafeína y estimulantes en general dos o tres horas antes de acostarse.
- Hacer ejercicio regularmente.

#### 8.6.5.2. PRIVACIÓN DEL SUEÑO

Un individuo sano suele dormir varias horas diarias. Normalmente duerme durante la noche y encuentra difícil permanecer despierto durante las horas que hay entre la medianoche y el amanecer, que es cuando habitualmente duerme. Si el individuo tiene que permanecer despierto durante estas horas, ya sea total o parcialmente, cae en un estado de pérdida forzosa del sueño, o *privación del sueño*, que suele percibirse en forma de cansancio. La necesidad de dormir, con distintos grados de somnolencia, se siente hasta que se consigue dormir lo suficiente. Por este motivo se dice que los períodos de privación del sueño provocan en una persona un *déficit* o *falta de sueño*.

La privación del sueño supone un problema especial para los trabajadores que no pueden dormir lo suficiente debido a su horario de trabajo (por ejemplo, en los trabajos nocturnos) o debido a que sus actividades de ocio son muy extensas. El trabajador de un

---

<sup>59</sup> Barton.

<sup>60</sup> Knauth y Folkard.

turno de noche quedará privado de sueño hasta que tenga la oportunidad de dormir un rato al final del turno. Como el sueño durante las horas diurnas suele ser más corto de lo necesario, el trabajador no podrá recuperarse de su situación de falta de sueño hasta que disfrute de un período largo de sueño, especialmente, toda una noche. Hasta ese momento, la persona va acumulando el déficit de sueño. Una situación parecida, el llamado *jet lag*, se produce en las personas que viajan entre dos zonas horarias distintas, con varias horas de diferencia. La privación de sueño que sufre el viajero se debe a que los períodos de actividad de la nueva zona horaria se corresponden con el período normal de sueño del lugar de origen. Durante los períodos de pérdida de sueño, los trabajadores se sienten cansados y su rendimiento se ve afectado de muchas formas. Hay distintos grados de privación del sueño que se van incorporando a la vida diaria de los trabajadores que tienen que trabajar en horarios irregulares, por lo que es importante tomar medidas que permitan hacer frente a los efectos negativos de dicho déficit de sueño. Las principales condiciones de los horarios de trabajo irregulares que contribuyen a la privación del sueño se muestran en la tabla inferior.

#### **PRINCIPALES CONDICIONES DE UN HORARIO DE TRABAJO IRREGULAR QUE CONTRIBUYEN EN DISTINTOS GRADOS A LA PRIVACIÓN DEL SUEÑO.**

<b>Horario de trabajo irregular</b>	<b>Condiciones que producen la privación del sueño.</b>
Horario nocturno	Sueño nocturno breve o ausente
Horario de madrugada o hasta muy tarde por la noche	Sueño más corto o interrumpido
Largas jornadas de trabajo o dos turnos seguidos	Desfase del sueño
Turno permanente de noche o de madrugada	Desfase consecutivo del sueño
Periodo corto entre turnos	Sueño corto e interrumpido
Intervalos prolongados entre descansos	Acumulación de déficit de sueño
Trabajo en una zona horaria distinta	Sueño ausente o breve durante las horas nocturnas del lugar de origen ( <i>jet lag</i> )
Periodos de tiempo libre desequilibrados	Desfase del sueño, periodos cortos de sueño

En condiciones extremas la privación de sueño puede durar más de un día. En ese caso, la somnolencia y los cambios en el rendimiento aumentan a medida que se prolonga el período de privación. Los trabajadores, sin embargo, suelen dormir un poco antes de que la privación del sueño se convierta en algo prolongado. Si las horas dormidas de esta forma no son suficientes, los efectos de la escasez de sueño continuarán. Por esto es importante conocer no sólo los efectos de la privación del sueño en sus distintas formas, sino también la manera en que los trabajadores pueden recuperarse de ellos.



El hecho de que los efectos de la privación del sueño estén relacionados con los ritmos fisiológicos circadianos nos ayuda a comprender lo complejo de su naturaleza<sup>61</sup>. Estos efectos deberían considerarse como el resultado de un desfase del ciclo sueño-vigilia en la vida cotidiana.

Los efectos del trabajo continuado o de la privación de sueño no sólo reducen la capacidad para mantenerse alerta, sino que también disminuyen el rendimiento, aumentan la probabilidad de quedarse dormido, reducen el bienestar y la moral y merman la seguridad. Cuando dichos períodos de privación del sueño se repiten, como sucede en el caso de las personas que trabajan por turnos, su salud puede verse afectada<sup>62</sup>. Es importante determinar hasta qué punto la privación del sueño perjudica el bienestar de los individuos y cómo podemos utilizar mejor la función reparadora del sueño para reducir estos efectos.

Durante una noche de privación de sueño y después de ésta, los ritmos fisiológicos circadianos del cuerpo humano parecen quedar interrumpidos. Por ejemplo, la curva de la temperatura corporal durante la primera jornada de trabajo en trabajadores del turno de noche tiende a mantener su patrón circadiano básico. Durante las horas nocturnas, la temperatura disminuye hasta las primeras horas de la mañana, vuelve a aumentar durante el día y vuelve a caer después del mediodía, tras alcanzar un máximo. Se sabe que los ritmos fisiológicos se *ajustan* a los ciclos invertidos de sueño-vigilia de los trabajadores nocturnos de forma gradual, en el curso de varios días en los que repite el turno de noche. Esto significa que los efectos sobre el rendimiento y la somnolencia son más significativos durante las horas nocturnas que durante el día. Los efectos de la privación del sueño tienen una relación variable con los ritmos circadianos originales observados en las funciones fisiológicas y psicológicas.

Los efectos de la privación del sueño sobre el rendimiento dependen del tipo de tarea que se vaya a realizar. Las características de las tareas inciden sobre estos efectos<sup>63</sup>. Generalmente, una tarea compleja es más vulnerable que una simple. El rendimiento en una tarea que implique un gran número de dígitos o una codificación compleja se deteriora durante tres días de pérdida de sueño<sup>64</sup>. Las tareas escalonadas, a las que hay que responder a intervalos determinados, se deterioran más que las tareas que el operario hace a su propio ritmo. Como ejemplos prácticos de tareas vulnerables pueden mencionarse las reacciones en serie a estímulos definidos, las operaciones sencillas de clasificación, la grabación de mensajes codificados, la copia mecanográfica, el seguimiento

---

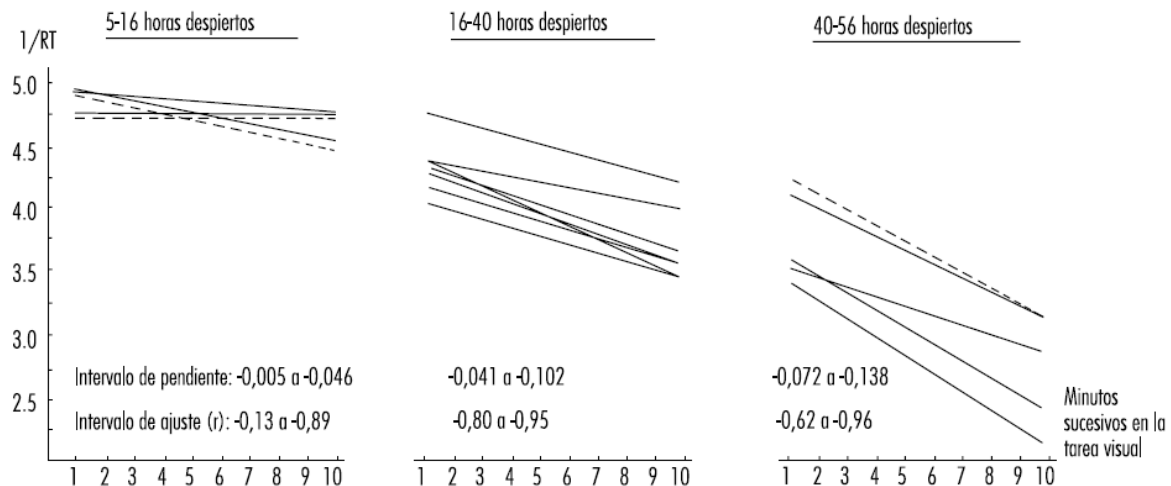
<sup>61</sup> Folkard y Akerstedt 1992.

<sup>62</sup> Rutenfranz 1982, Koller 1983, Costa y cols. 1990.

<sup>63</sup> Fröberg 1985, Folkard y Monk 1985, Folkard y Akerstedt 1992.

<sup>64</sup> Fröberg 1985, Wilkinson 1964.

por pantalla y la inspección continua. Los efectos de la privación de sueño sobre el rendimiento durante una actividad física intensa son también muy conocidos. Los efectos típicos de la privación prolongada de sueño sobre el rendimiento en una tarea visual se muestran en la siguiente figura<sup>65</sup>. Los efectos son más pronunciados después de dos noches sin dormir (40-56 horas) que después de una noche (16-40 horas).



Ajuste a las líneas de regresión de la velocidad de respuesta (la inversa del tiempo de respuesta) durante una tarea visual sencilla y no preparada de 10 minutos encomendada de forma repetida a adultos jóvenes sanos durante un periodo sin privación de sueño (5-16 horas), una noche sin dormir (16-40 horas) o dos noches sin dormir (40-56 horas).

El grado en que se ve afectado el rendimiento en las tareas también parece depender de la forma en que inciden sobre él los componentes que *enmascaran* los ritmos circadianos. Por ejemplo, algunas medidas de rendimiento, como las tareas de memorización, se ajustan al trabajo nocturno de forma considerablemente más rápida que las tareas de tiempo de reacción en serie, por lo que pueden compensarse relativamente con sistemas de rotación rápida de turnos<sup>66</sup>. Estas diferencias sobre los efectos de los ritmos del reloj fisiológico endógeno y sus componentes enmascaradores deben tenerse en cuenta a la hora de considerar la seguridad y la precisión del rendimiento bajo la influencia de la privación de sueño.

Un efecto particular de la privación del sueño sobre el rendimiento es la aparición de frecuentes *lapses* o periodos sin respuesta<sup>67</sup>. Estos lapsus de rendimiento son periodos breves de baja capacidad para mantener la alerta o de sueño ligero. Pueden detectarse con registros en vídeo de la ejecución, con registros de los movimientos oculares o con electroencefalogramas (EEG). Una tarea prolongada (media hora o más), especialmente cuando es repetitiva, puede conducir más fácilmente a estos lapsus. Las tareas

<sup>65</sup> Fuente: Dinges 1992.

<sup>66</sup> Folkard y cols. 1993.

<sup>67</sup> Wilkinson 1964, Empson 1993.

monótonas, como la repetición de reacciones simples o el seguimiento de señales infrecuentes son muy sensibles en este sentido. Por otro lado, una tarea nueva se ve menos afectada. El rendimiento en situaciones de trabajo cambiante también es más resistente.

Si un individuo trabaja continuamente durante toda una noche, sin dormir, muchas de sus funciones de rendimiento se verán definitivamente deterioradas. Si el sujeto vuelve a estar en el turno de noche por segunda vez sin haber dormido nada, el descenso de su rendimiento seguirá su curso. Tras la tercera o cuarta noche de privación total del sueño, muy poca gente puede permanecer despierta y realizar sus tareas, aunque estén muy motivados. En la vida real, sin embargo, las condiciones de pérdida total del sueño raramente se dan. La gente suele dormir algo durante los turnos de noche siguientes. Pero los estudios realizados en varios países demuestran que el sueño diurno es casi siempre insuficiente para recuperarse del déficit de sueño contraído por el trabajo nocturno<sup>68</sup>. Como resultado, los déficits de sueño se van acumulando cuando el trabajador repite el turno de noche. También se producen faltas de sueño similares cuando los períodos de sueño se ven reducidos por la necesidad de seguir los cambios de turnos establecidos. Aunque sea posible dormir por la noche, una restricción en el sueño nocturno de sólo dos horas cada noche basta para provocar una falta de sueño en la mayoría de las personas. Una reducción así puede deteriorar el rendimiento y la capacidad de permanecer alerta<sup>69</sup>.

La escasa calidad del sueño diurno o los períodos de sueño reducidos también son importantes. Durante el sueño diurno, la persona se despierta con más frecuencia, el sueño es menos profundo y de onda más lenta y la distribución de las fases MOR del sueño es diferente de la del sueño nocturno normal<sup>70</sup>. Por todo esto, el sueño diurno nunca puede ser tan profundo como el nocturno, aunque el entorno sea adecuado.

El único medio eficaz para recuperarse de la falta de sueño es dormir. El efecto reparador del sueño es bien conocido<sup>71</sup>. Como la recuperación mediante el sueño puede diferir en función de su horario y duración<sup>72</sup>, es fundamental saber cuándo y cuánto debería dormir la gente. En la vida diaria, lo mejor es siempre dormir una noche entera para acelerar la recuperación del déficit de sueño, pero normalmente se trata de reducir los efectos de la falta de sueño con pequeñas siestas en diferentes ocasiones, que sustituyen al sueño normal de una noche entera, del que se ha privado a la persona. La tabla anterior muestra

---

<sup>68</sup> Knauth y Rutenfranz 1981, Kogi 1981, ILO 1990.

<sup>69</sup> Monk 1991.

<sup>70</sup> Torsvall, Akerstedt y Gillberg 1981, Folkard y Monk 1985, Empson 1993.

<sup>71</sup> Kogi 1982.

<sup>72</sup> Costa y cols. 1990.

algunos aspectos de estos sueños de sustitución.

En la tabla siguiente se muestran ejemplos de las condiciones del sistema de turnos que contribuyen a la acumulación de la falta de sueño o a la privación parcial de sueño. Además del trabajo durante dos noches o más, los períodos de descanso reducidos entre turnos, los turnos de madrugada repetidos, los turnos de noche frecuentes y el reparto inadecuado de los días libres aceleran la acumulación de la falta de sueño.

<b>Aspecto</b>	<b>Sueño <i>por adelantado</i></b>	<b>Sueño <i>de mantenimiento</i></b>	<b>Sueño <i>retrasado</i></b>
Ocasión	Antes de un turno nocturno. Entre turnos nocturnos. Antes del trabajo de madrugada. Siestas a última hora de la tarde.	Trabajo nocturno intermitente. Durante un turno de noche. Turno alternado de día. Tiempo libre prolongado. Siestas de forma irregular.	Después de un turno de noche. Entre turnos de noche. Tras un trabajo vespertino prolongado. Siestas durante de día.
Duración	Generalmente breve.	Breve por definición.	Generalmente breve, pero más largo tras un trabajo vespertino prolongado.
Calidad	Mayor latencia para conciliar el sueño. Malhumor al levantarse. Sueño MOR reducido. Sueño de onda lenta dependiente de la vigilia previa.	Latencia breve. Malhumor al levantarse. Fases iniciales de sueño similares a las de un sueño nocturno normal.	Latencia más corta para el sueño MOR. Se despierta con mayor frecuencia. Mayor proporción de sueño MOR. Mayor cantidad de sueño de onda lenta tras un periodo largo de vigilia.
Interacción con los ritmos circadianos	Ritmos alterados, ajuste relativamente rápido.	Conduce a la estabilización de los ritmos originales.	Ritmos alterados; ajuste lento.

## 8.7. INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.

### 8.7.1. DISPOSITIVOS INFORMATIVOS VISUALES (DIVs)

#### 8.7.1.1. INTRODUCCIÓN.

Debido a la abundancia de diales en nuestras vidas, la ergonomía estudia la forma de poder utilizarlos de la manera más rápida y eficaz posible, sin dar posibilidad a fallos en las lecturas o a faltas de precisión.

Para diseñar un DIVs de tal manera que se mejore la información presentada, primero se debe determinar con precisión las siguientes características sobre la información a transmitir:

- Cómo
- Dónde
- Para qué
- Por quién

En el ejemplo de un velocímetro para un coche, se pueden determinar las características de la siguiente forma:

	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
<b>CÓMO</b>	Con un indicador analógico.	Con un indicador digital.
<b>DÓNDE</b>	En el salpicadero.	En el parabrisas (HUD).
<b>PARA QUÉ</b>	Para saber la velocidad a la que circulamos.	Para saber la velocidad a la que circulamos.
<b>POR QUIÉN</b>	Por el conductor.	Por el conductor.

Para un correcto diseño de un DIV debemos conocer todos los tipos que hay y que información transmiten mejor. De igual manera que la mejor disposición cuando no sólo tenemos uno sino varios, para que la percepción sea máxima.

#### 8.7.1.2. TIPOS DE DIVs

Un DIV es cualquier sistema o mecanismo que proporciona información visible a los usuarios. Entre estos dispositivos pueden incluirse los siguientes tipos: alarmas, indicadores de estado, contadores, diales y cuadrantes, símbolos, lenguaje escrito, pantallas y gestos.

Se considera que los DIVs pueden proporcionar los cuatro siguientes tipos de información:

- Cuantitativa: Se refiere al valor concreto de una variable.
- Cualitativa: Es la que tiene que ver con que el sistema esté, o no, en un estado determinado. Dentro de estas debemos poner especial atención a las que proporcionan información de *alerta-seguridad*.
- De chequeo: Sirven para comprobar en un tiempo breve si el sistema está, o no,

funcionando correctamente.

- De conocimiento de la situación: En este caso el DIV ayudaría al usuario a predecir situaciones futuras, la evolución.

Atendiendo a la manera de informar sobre el estado de la variable de interés, los DIVs pueden dividirse en tres categorías:

- Digitales: Informan mediante el empleo directo de números.
- Analógicos: La información resulta de la forma en cómo se ubica algún tipo de elemento señalizador respecto a una escala gráfica.
- Representativos: Se emplearía algún tipo de estimulación para representar a la variable de interés. Se distinguen dos subtipos:
  - Simbólicos: La relación entre lo representado y la forma en que se hace es arbitraria. Ejemplo: Triángulo para indicar peligro.
  - Pictóricos: Se hacen uso de representaciones pictóricas para representar una idea.

A la hora de transmitir información cuantitativa, la disyuntiva será entre indicadores analógicos y digitales. Y si la información a transmitir es cualitativa se deberá hacer la elección entre indicadores analógicos o representativos.

#### 8.7.1.3. INDICADORES ANALÓGICOS vs DIGITALES

Los indicadores digitales son superiores a la hora de transmitir información numérica rápida y exacta<sup>73</sup>.

Los indicadores digitales son preferibles cuando:

- Interesa una lectura lo más exacta posible.
- La lectura se realiza en condiciones favorables.
  - Poca variación en valores (posibilidad de HOLD).
  - Buena iluminación.
  - Ausencia de vibración.
- La aplicación de la lectura es directa y requiere de poca o ninguna interpretación.

Los indicadores analógicos son preferibles cuando:

- Los valores cambian muy rápidamente.
- Cuando es necesaria la evolución de los datos.

Siempre debe tratarse de plasmar la información en el DIV de la forma más pictórica posible, dado que el tiempo requerido para usar la información como la adecuación con

---

<sup>73</sup> Zeff, 1961 y Sinclair, 1971.



que se usa (numero de errores, proporción de personas que cometen errores) puede mejorarse bastante debido a la *compatibilidad espacial*, concordancia entre la naturaleza de la información presentada y la forma en que se representa.

#### 8.7.1.4. INDICADORES ANALÓGICOS vs REPRESENTATIVOS

En muchas ocasiones la información más importante es de tipo cualitativo, por ejemplo, saber si algo está encendido o apagado, si el motor de un coche tiene la temperatura adecuada, o si está frío, o peligrosamente caliente...

Para saber si es mejor un indicador analógico o uno simbólico, antes se debe saber si sólo se quiere transmitir información cualitativa o si además también se quiere transmitir información cuantitativa. Para sólo información cualitativa, lo mejor es una representación simbólica, pero para ambas informaciones, se deben usar los indicadores analógicos.

Las ventajas de los indicadores representativos son:

- Tienden a ocupar un menor espacio.
- Son más económicos y carecen de riesgos mecánicos.
- Interpretación más directa que los analógicos.

Si se quiere saber además del estado en que se encuentra un sistema, los niveles relativos dentro de éste y/o los cambios que puedan darse en él, lo mejor es en un DIV analógico.

Los DIVs digitales no se consideran dentro de la representación de información cualitativa, puesto que aunque pueden proporcionarla, siempre existe una alternativa analógica más adecuada.

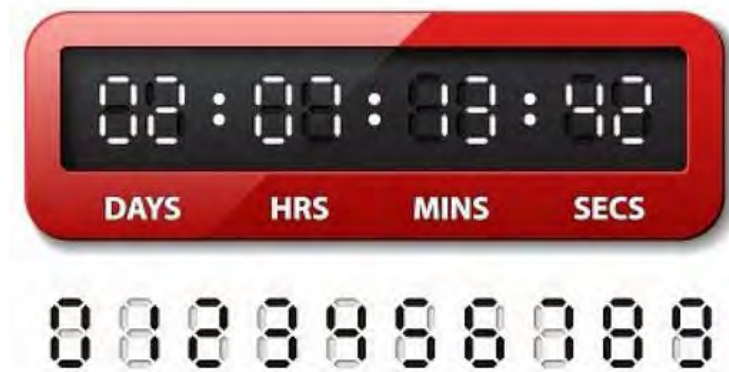
#### 8.7.1.5. DISEÑO DE INDICADORES DIGITALES

Los indicadores mecánico-digitales (contadores) suelen usarse, entre otras aplicaciones, para la lectura del gas o del agua, o para indicar los kilómetros que ha recorrido un vehículo desde que se estrenó. Este tipo de DIVs deben ser empleados únicamente si el usuario no está sometido a una presión temporal, debido a sus principales problemas de diferencia de alturas y de presentación parcial de las cifras, causado por el mecanismo de tambor rotatorio que utilizan.



Contador de tambor rotatorio.

Estos indicadores han sido sustituidos por los de LCD o por los diodos LED, que eliminan el problema de sus antecesores, además de, al emitir luz propia (LED) poder ser utilizados en la oscuridad. El único inconveniente es la similitud entre todas las cifras, debido a que se representan mediante una planilla igual todos los números.



Contador digital.

#### 8.7.1.6. DISEÑO DE INDICADORES ANALÓGICOS:

Su principal ventaja es que proporcionan información cualitativa y cuantitativa simultáneamente. Por ello puede dar cuenta de los siguientes aspectos:

- Estado en el que se encuentra el sistema:
  - Motor caliente o frío
  - Estado del aceite
- Magnitud relativa dentro de un estado:
  - Si estamos en la zona correcta o hemos llegado a la zona de peligro
- Las variaciones dentro de un estado y su tasa de cambio:
  - Las acciones tomadas dan, o no, resultado; a qué velocidad se produce la mejora
- El valor concreto de la variable en un momento dado:
  - La velocidad del coche es de 110 Km/h
  - La temperatura del motor es 90°C

La eficacia de un DIV analógico de transmitir información cuantitativa depende de la adecuación del sistema formado por la escala y la aguja. Para mejorar esta eficacia, lo mejor es que la escala tenga las siguientes propiedades<sup>74</sup>:

- Magnitud de las unidades de la escala: cada una de las marcas lineales de la escala debe corresponder a la menor unidad que en ella se va a leer. Por ejemplo: no sirve

---

<sup>74</sup> McCormick y Sanders, 1992.

de nada que en el velocímetro de un coche las divisiones de la escala lleguen hasta las décimas de los Km/h.



DIV analógico.

- Marcas de la escala: lo ideal es que la escala represente tres tipos de marcas. Las menores representarán el valor mínimo considerado, las medianas cinco veces las menores, y las mayores dos veces las medianas. La longitud de las marcas mayores ha de ser algo más que el doble de las pequeñas; aún así, el tamaño de las marcas dependerá del nivel de iluminación del entorno.
- Valores y ubicación de los números de escala: es posible que por problemas de espacio no se puedan numerar todas las marcas, pero sí se tienen que numerar las mayores y las medianas, además se tiene que tener en cuenta que el valor no debe ser tapado por la aguja.
- Diseño, colocación y separación de la aguja: se debe reducir todo lo posible la profundidad entre la aguja y la escala, de tal manera que se eviten efectos de paralelaje en movimiento (distintas lecturas desde distintos puntos de vista). Además, la punta de la aguja debe tener unos 20°, y que contacte pero no se superponga con el extremo superior de las marcas menores.

Existen dos versiones de DIVs analógicos, los de *escala móvil* y los *indicadores analógicos de escala completa y fija*, estas dos versiones de DIVs analógicos se ejemplifican claramente en una báscula de baño y en el velocímetro de un vehículo.

Los DIVs analógicos denominados de *escala móvil* tienen dos características fundamentales. Primero, que es la escala la que se mueve, mientras que la aguja se queda fija. Y segundo, que sólo se ve una parte de la escala, la que realmente interesa, pudiendo ser mostrada ésta con un mayor grado de detalle.

En los *indicadores analógicos de escala completa y fija*, caso del velocímetro habitual de los vehículos a motor, el movimiento de la aguja y no de la escala resulta útil puesto que con un sólo golpe de vista percibimos el rango de velocidades en que nos movemos.

#### 8.7.1.7. DISEÑO DE INDICADORES SIMBÓLICOS

Un claro caso de DIV simbólico serían los semáforos, dado su código de colores y posiciones para transmitir información.

Los DIVs simbólicos pueden dividirse, en función del número y naturaleza de las categorías utilizadas, en los siguientes tipos:

- Simples: Cada valor distinto de una sola dimensión significaría una cosa distinta. El número de categorías no debe superar las siete<sup>75</sup>. Estas categorías deben ser tan diferenciables entre sí como sea posible.
- Redundantes: Son dos o más las dimensiones que proporcionan información sobre el estado de una variable (semáforo: color y posición). Es muy normal que una sola de estas variables sea suficiente por sí misma, aún así es bueno el uso de una segunda variable por dos razones: primero por posibles problemas de reconocimiento de una de las dos variables por parte de un porcentaje de la población, como es el caso del daltonismo con los colores. Segundo porque una misma persona puede preferir utilizar una u otra variable dependiendo de la situación.
- Compuestos: Se utilizan dos o más dimensiones, necesarias todas para interpretar la información, ninguna es suficiente por separado. Un ejemplo de éstos son las señales de tráfico, el círculo rojo indica prohibición y la representación interior lo que está prohibido.
- Configurales o de objeto: Las variables influyen unas en otras, antes la forma no influía en el color, en este caso se utilizarán estas influencias para detectar anomalías.

#### 8.7.1.8. DISEÑO DE INDICADORES PICTÓRICOS

El uso de los indicadores pictóricos se está extendiendo hasta tal punto que hoy día es realmente difícil encontrar DIVs sin este tipo de representación. Las razones<sup>76</sup> de este aumento en este tipo de indicador podrían ser que:

- Transmiten conceptos e instrucciones en una sola mirada.
- Son especialmente útiles para personas con dificultades en el uso del idioma.
- Facilitan la difusión de productos entre los países.

Se dispone de un gran número de pictogramas a utilizar, así pues la cuestión es la de

---

<sup>75</sup> Miller, 1956.

<sup>76</sup> Wogalter y Sojourner, 1997.



decidir cuáles son los más adecuados para la información concreta que se desea transmitir. Hay técnicas<sup>77</sup> que permiten efectuar la selección de forma fiable y eficaz:

- Interpretación directa: Se evalúa la inteligibilidad de una serie de símbolos mediante su muestra a un grupo de personas. Esta técnica es muy útil para comprobar la comprensibilidad relativa de un mismo DIV en distintos grupos de observadores.
- Matriz de confusión: Técnica útil cuando se van a utilizar simultáneamente un número elevado de pictogramas, debido a la posibilidad de que algunos de ellos sean confundibles entre sí. Primero se muestran los pictogramas con su identificación, y luego en orden aleatorio sin la identificación teniendo el observador que averiguarla.
- Tiempos de reacción: Técnica para evaluar el tiempo que se tarda en reconocer un determinado pictograma o señal. Aquellas señales que producen menores tiempos de reacción también son las más fáciles de reconocer a una cierta distancia.

#### 8.7.1.9. DIVs DE ALERTA-PELIGRO

Los DIVs de alerta-peligro son un grupo especial por su importancia y ubicuidad. No hay información más importante que la relacionada con la integridad de las personas. Los tipos de DIVs alerta-peligro más importantes son tres:

- Mensajes escritos: En una investigación<sup>78</sup> se evaluó la fuerza relativa y la forma de interacción de cuatro aspectos en los que pueden variar los mensajes escritos de peligro: color, tamaño, grosor del recuadro y separación mensaje-recuadro.
  - Color: El rojo es el color más persuasivo, y el blanco el menos. La jerarquía cromática es rojo, naranja, amarillo, negro, verde, azul y blanco.
  - Tamaño: A mayor tamaño de letra, mayor persuasividad.
  - Grosor del recuadro: A mayor grosor, mayor persuasividad.
  - Separación mensaje-recuadro: Apenas produce efectos.

Otro aspecto importante<sup>79</sup>, es la identidad de la palabra utilizada para avisar del posible riesgo, consigue mayor atención la palabra **MORTAL** que **AVISO**.

Los editores de la revista *Ergonomics*<sup>80</sup>, proporcionaban en ella el siguiente conjunto de

---

<sup>77</sup> McCormick y Sanders, 1992.

<sup>78</sup> Adams y Edworthy, 1995.

<sup>79</sup> No considerado por Adams y Edworthy (1995) pero sí por Wogalter y Silver (1995).

<sup>80</sup> Judy Edworthy, Neville Stanton y Elizabeth Hellier.

conclusiones sobre el uso de los mensajes visuales:

- Los avisos nunca deben emplearse como sustitutos de un buen diseño del entorno de trabajo.
- Los datos sobre accidentes y riesgos deben utilizarse para decidir si una señal es, o no, necesaria en una aplicación concreta.
- Está demostrado que el uso de mensajes conminatorios relacionados con productos peligrosos incrementa el número de conductas seguras en los entornos de trabajo.
- Se dispone en inglés de 15 palabras relacionadas con la presencia de riesgos. Éstas producen interpretaciones consistentes en poblaciones muy diversas.
- La identidad de las palabras (aviso, mortal...) y la categoría de los colores (blanco, rojo...) tiene efectos complementarios en su capacidad persuasiva.
- Un aviso escrito en rojo sólo necesita tener la mitad de tamaño que otro escrito en negro para producir el mismo efecto persuasivo.
- El color rojo parece tener más efecto en las conductas de seguridad que otros colores.
- Los niveles de persuasión medidos objetivamente no guardan una perfecta relación con los predecibles a partir de las respuestas subjetivas.
- Los tiempos de reacción se reducen cuando se incrementa el número de modalidades sensoriales en las que se presenta un aviso.
  - Pictogramas: No todos los pictogramas son entendidos por todo el mundo, así pues hay que conseguir que los entienda el mayor número posible y además realizar un entrenamiento de tal manera que nos habituemos y podamos identificarlos correctamente.
  - Grandes Instalaciones industriales: Los fallos en estos lugares exponen al operador humano en un corto periodo de tiempo a un gran volumen de información y deberá tomar decisiones de una alta responsabilidad. Para ayudarle debe simplificarse al máximo la información que reciba, de manera que pueda elaborar un modelo mental sobre la situación en el menor tiempo posible y pueda llevar a cabo las acciones necesarias.

#### 8.7.1.10. REDISEÑO DE DIVs

Teniendo en cuenta que el rediseño de cualquier objeto se realiza para introducir mejoras, ya que si no no sería necesario, debemos seguir una serie de pasos.

- Búsqueda de información:
  - Familiarizarse con el manejo del DIV, para comprender mejor la naturaleza del dispositivo analizado y la forma en que se ha estado empleando.
  - Realizar un análisis de la situación en que se ha estado empleando el

DIV. Por ejemplo: Colocación (alto, bajo, escorado), ambiente (ruidos, iluminación, temperatura), nivel de uso (esporádico, constante), persona que lo usa (siempre el mismo individuo, rango elevado de personas), etc.

- Realizar una lista de incidentes y accidentes, esto nos aportará datos básicos sobre los problemas que presenta el DIV. Por ejemplo: confusión entre dos modos o funciones, dificultad en la interpretación de los indicadores, cambio inintencionado de los ajustes, etc.
- Evaluación de la relevancia de la información obtenida:
  - Imposibilitar confusión entre modos.
  - Representar claramente el punto decimal.
  - Botones grandes, resistentes y separados para evitar pulsaciones accidentales.
- Diseño y evaluación de la nueva interfaz:
  - Corrección de los errores que se han encontrado mediante un nuevo diseño
  - Mantener el formato lo más parecido posible al anterior para no tener que reaprender y evitar errores por confusión entre el sistema nuevo y el antiguo.

#### 8.7.1.11. ATENCIÓN Y BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

En entornos donde abundan los DIVs existe el riesgo de que se den tres situaciones indeseadas, evitarlas es uno de los objetivos fundamentales del diseño ergonómico.

- Límites de la atención selectiva: El observador no responde ante la información principal por atender a la secundaria.
- Límites de la atención focalizada: El operador tiene problemas para centrarse en una tarea debido a la presencia concurrente de algún estímulo ajeno a ella. Un ejemplo de distracción de este tipo sería una conversación.
- Límites de la atención dividida: El operador tiene problemas de realizar simultáneamente dos tareas. Aunque no se tengan dificultades para conducir y conversar a la vez cuando estas dos tareas requieren pocos recursos atencionales, si se pueden tener problemas en caso contrario, cuando la circulación se empieza a poner complicada o la conversación es importante, el nivel de atención prestado a esta tarea puede ser menor que el necesario y ser la causa de un accidente. En el caso de conducir por ciudad y tener que mirar a la calzada para seguir la circulación, y a ambos lados para poder reaccionar si alguien intenta cruzar, y además mirar al velocímetro para mantener el coche por debajo de la velocidad que marca la vía, todo esto supone un alto grado de atención que no se puede dividir buscando una emisora en la radio o encendiendo un cigarrillo.

Algo que afecta claramente a nuestro grado de atención es la carga mental, cuanto mayor sea, menor será nuestro rendimiento, viéndose acentuado en la atención sobre la zona periférica de nuestra visión.

#### 8.7.1.12. DIVs Y CONTROLES

El diseño del entorno de trabajo no sólo abarca el análisis de los dispositivos que proporcionan información visible, sino que debe considerar todos aquellos cuya función es la de permitirle actuar sobre la situación y que, por ello, reciben el nombre de controles.

Para situar los controles en el entorno de trabajo, pueden servir de guía los siguientes principios<sup>81</sup>.

- Principio de la secuencia de uso: Siempre que un grupo de controles deba emplearse de forma secuencial, sus miembros deben situarse en posiciones espaciales próximas y contiguas, de forma que la mera colocación indique/recuerde al operador la forma en que han de utilizarse. Por ejemplo de arriba a abajo o de izquierda a derecha. Además los controles que han de utilizarse juntos, o cuyo uso se haga en proximidad temporal, deben ocupar posiciones espaciales próximas para que el controlador no pierda tiempo buscándolos o alcanzándolos.
- Principio de frecuencia de uso: Los controles más frecuentemente utilizados deben ocupar posiciones en las que sean fácilmente visibles y utilizables.
- Principio de importancia: Los controles importantes, aunque no se usen casi nunca, también han de ser fácilmente visibles y utilizables por el operador.

Otro aspecto a considerar en la colocación de los controles es la distancia entre ellos, no deben estar colocados ni muy lejos unos de otros, para evitar movimientos innecesarios de las extremidades del operador, ni demasiado cerca, para evitar activaciones involuntarias.

Es importante considerar con que parte del cuerpo vamos a activar cada control, para determinar la magnitud de este espacio.

También ha de tenerse en cuenta y considerar la posibilidad de contactos indeseados con los controles; para ello han de tomarse medidas que eviten este tipo de actuaciones<sup>82</sup>.

- Retraer el control.
- Orientar el control de forma que sea difícil su activación accidental.
- Cubrirlo con alguna superficie protectora.

---

<sup>81</sup> Osborne, 1995.

<sup>82</sup> Osborne, 1995.



- Trabarlo.
- Aumentar la resistencia a la activación de tal manera que requiera una fuerza superior a la esperable en un contacto accidental.

Tras tener en cuenta las variables relacionadas con la ubicación de los controles, se determina cómo conjugar su presentación con la de los DIVs. Para satisfacer el uso conjunto han de satisfacerse los dos siguientes aspectos.

- Facilidad de identificación: Cuando se utilizan simultáneamente varios controles e indicadores el usuario debe conocer, sin errores y de forma rápida, qué control corresponde a cada indicador. Para lograrlo, controles e indicadores deben organizarse respecto a un mismo número de dimensiones espaciales y, dentro de cada una de ellas, de forma equivalente (isomorfismo espacial).
- Compatibilidad en los movimientos: Los movimientos en los controles deben ser equivalentes o compatibles con aquellos que se producen en los DIVs y, además, corresponderse con las expectativas de los observadores. Para el ejemplo de un control de tipo botón en conjunción con un DIV analógico vertical, los aspectos relevantes serán los siguientes:
  - Principio del sentido esperado en los movimientos: El DIV debe presentar los aumentos en la variable mediante incrementos en la altura del elemento indicador. El control debe incrementar el valor de la variable cuando gire en el sentido de las agujas del reloj.
  - Principio de Warrick: El elemento señalizador debe moverse en la misma dirección que el punto más cercano del control.
  - Principio del lado de la escala: El elemento señalizador debe moverse en la misma dirección que la parte del botón de control que esté en el mismo lado que las marcas de la escala.

#### 8.7.1.13. ILUMINACIÓN DE PANTALLAS

Frecuentemente la iluminación del entorno debe compaginarse con la de pantallas como los DIVs. Para que esta compaginación pueda hacerse de manera cómoda y efectiva deben utilizarse condiciones de iluminación que, al tiempo que posibiliten contemplar adecuadamente el entorno, no reduzcan en grado importante el contraste de lo presentado en pantalla.

En general, las tareas que se efectúan fuera de la pantalla se benefician del empleo de luminancias altas, porque gracias a ellas se facilita la apreciación de los detalles pequeños, sin embargo pueden dificultar el uso de la información presentada en pantalla por los siguientes motivos:

- Cambios en el nivel de adaptación: Las luminancias medias de la pantalla y del

entorno deben tender a ser similares; sino, los ojos tienen que cambiar su nivel de adaptación cada vez que se deje o se vuelva a mirar la pantalla.

- Reducción en el nivel de contraste: El exceso de iluminación ambiental puede dificultar la visibilidad de las pantallas.
- Incrementa las posibilidades de que aparezcan reflejos en la pantalla debido a la proyección en ella de luz procedente de objetos de alta luminancia.

## 8.7.2. MANDOS

### 8.7.2.1. INTRODUCCIÓN

Podemos considerar el sistema hombre - máquina como una combinación de uno o más seres humanos y uno o más componentes físicos, que actúan recíprocamente para efectuar, a partir de unas entradas de energía e información determinadas, una producción deseada.

En este contexto el concepto *máquina* se emplea en un sentido amplio, entendiendo como tal cualquier objeto, aparato, equipamiento... que se utilice con el fin de conseguir un propósito o desempeñar alguna función. Esta interrelación implica un circuito de comunicación en el que la persona ocupa una posición clave: a ella lo corresponde tomar las decisiones.

El proceso de información es el siguiente:

- Los indicadores, o DIVs, de la máquina dan una información sobre la marcha de la producción.
- El trabajador registra esta información (percepción), debe comprenderla y evaluarla correctamente (interpretación)
- Posteriormente, el trabajador, debe tomar una decisión y dar una respuesta, realizando los movimientos apropiados para transmitir la información a la máquina.
- Una señal de control informa a su vez del resultado de la acción (feed-back).

Los mandos representan el último eslabón en este circuito de informaciones, unos mandos mal diseñados pueden ocasionar distorsiones en el sistema.

El estudio ergonómico de estas comunicaciones deberá buscar los datos que permitan la mejor adaptación posible de los dos componentes del sistema, evitando los errores en la transmisión y la interpretación de la información. Por un lado deberá tenerse en cuenta la percepción de las señales y el diseño de los indicadores y por otro hay que prestar especial atención a la emisión de la respuesta y a la concepción de los mandos.

Para diseñar un sistema de control efectivo hay que tener en cuenta una serie de variables referentes a las aptitudes y conducta del operador y al tipo de respuesta que se requiere.

## 8.7.2.2. TIPOS DE MANDOS

Según su función, los mandos se pueden clasificar como en la siguiente tabla:

<b>MANDOS UTILIZADOS PARA MOMENTOS CONCRETOS</b>	<b>MANDOS UTILIZADOS PARA ACCIONES CONTINUAS</b>
Activación	Selección continua, como la frecuencia de una radio.
Entrada de datos	Control continuo, como el acelerador de un coche.
Selección (de un punto determinado)	

Según el tipo de acción a desarrollar será más indicado la utilización de un tipo de mando u otro:

<b>TIPO DE CONTROL</b>	<b>ACCIONAMIENTO PUNTUAL</b>			<b>ACCIONAMIENTO CONTINUO</b>	
	ACTIVACIÓN	ENTRADA DE DATOS	SELECCIÓN	SELECCIÓN CONTINUA (cuantitativa)	CONTROL CONTINUO
Pulsador manual	Excelente	Bueno	No recomendado	No aplicable	No aplicable
Pulsador de pie	Bueno	No aplicable	No recomendado	No aplicable	No aplicable
Interruptor de palanca	Bueno, pero propenso a activación accidental	No aplicable	Bueno	No aplicable	No aplicable
Interruptor giratorio	Utilizable, puede confundirse sus posiciones	No aplicable	Excelente	No aplicable	No aplicable
Botón	No aplicable	No aplicable	Pobre	Bueno	Regular
Manivela	Solo si hay que hacer mucha fuerza	No aplicable	No aplicable	Regular	Buena
Volante	No aplicable	No aplicable	No aplicable	Bueno	Excelente
Palanca	Buena	No aplicable	Buena	Buena	Buena
Pedal	Regular	No aplicable	No aplicable	Bueno	Regular

En general, según el esfuerzo exigido es más recomendable un tipo de mando que otro.

<b>TIPO DE CONTROL</b>	<b>RAPIDEZ</b>	<b>PRECISIÓN</b>	<b>FUERZA</b>
Manivela			
Pequeña	Buena	Pobre	No adecuada
Grande	Pobre	No adecuada	Buena
Volante	Pobre	Bueno	Utilizable
Botón	No utilizable	Regular	No utilizable
Palanca			
Horizontal	Buena	Pobre	Pobre
Vertical	Buena	Regular	Corta: Pobre
(perpendicular al cuerpo)			Larga: Buena
Vertical (siguiendo el cuerpo)	Regular	Regular	Regular

Joystick	Bueno	Regular	Pobre
Pedal	Bueno	Pobre	Bueno
Pulsador	Bueno	No utilizable	No utilizable
Interruptor giratorio	Bueno	Bueno	No utilizable
Interruptor de palanca	Bueno	Bueno	Pobre

Adecuación de los controles a la acción requerida.

Los mandos que exigen un esfuerzo muscular pequeño (botones, teclas, interruptores) son accionados fácilmente con los dedos. Los mandos que exigen cierto esfuerzo muscular (palancas, manivelas, volantes y pedales) se accionarán gracias a los músculos de brazos y piernas.

Estas dos variables, acción requerida y función que cumple el mando, determinarán el mando a utilizar así como el tamaño y dimensiones del mismo, que deberán corresponderse con los datos antropométricos de los miembros del cuerpo a utilizar. En el momento del diseño, y haciendo referencia al tamaño, hay que considerar si se utilizan o no prendas de protección personal, principalmente guantes o botas de seguridad, en cuyo caso deberá preverse una mayor holgura que permita el manejo del mando. También habrá que tener en cuenta que los guantes influyen en la habilidad del operario y en la percepción de la textura de las manos.

Cabe hacer mención especial al predominio manual. Los mandos, y las herramientas en general, están diseñados para personas con predominio de la mano derecha, por lo que las personas zurdas pueden encontrar dificultades en su manejo, lo que puede llevar a un estado de fatiga. La solución a este problema no es fácil pues estriba en hasta qué punto es posible adaptar el puesto de trabajo a los trabajadores zurdos. Ello exigiría, evidentemente, reconsiderar la forma de los mandos o herramientas y la dirección de los movimientos y prever una versión para diestros y una para zurdos. En estos casos, sin embargo, es crucial valorar los requerimientos de la tarea y las consecuencias de los posibles errores de forma que el puesto pueda adaptarse lo máximo posible a las capacidades del individuo.

### 8.7.2.3. DIFERENCIACIÓN DE MANDOS

Los cuadros de control suelen estar provistos de numerosos mandos, cada uno de los cuales cumple una función distinta. Es importante pues que los mandos puedan ser identificados y diferenciados sin dificultad. Para ello existen distintos criterios:

- La estructura o el material: La textura del material empleado o del propio mando (liso, estriado, rugoso) puede ayudar a identificarlo, especialmente cuando una operación se realiza *a ciegas*, sin fijar la vista en el mando.
- El color: El color está indicado cuando se encuentra en el campo visual, si la iluminación es tenue deberá disponerse de iluminación localizada.

- El tamaño: Da información visual y táctil aunque generalmente, por sí mismo, no es tan fiable como la forma o el color. La diferencia de tamaño ha de ser tal que puedan distinguirse fácilmente unos de otros, lo que puede resultar en un tamaño inadecuado para el movimiento requerido.

#### 8.7.2.4. DISPOSICIÓN DE LOS MANDOS

Además del diseño de los controles hay que prestar especial atención a su disposición. En ella además de la estética deberán prevalecer criterios de seguridad del trabajador, confort, separación entre mandos para evitar errores (seguridad del sistema), medidas antropométricas... Para ello hay que tener en cuenta tanto el diseño del espacio de trabajo como la posición de los controles.

Para el diseño del espacio de trabajo deberán considerarse los siguientes aspectos como criterios generales:

- Evitar imponer posturas forzadas, los movimientos naturales son más eficaces y menos fatigantes.
- Evitar tener los brazos extendidos.
- Dar la posibilidad de alternar la posición sentada y de pie.
- Procurar que los movimientos de los brazos sean opuestos o simétricos, el movimiento de un solo brazo implica una carga estática de los músculos del tronco.
- El plano de trabajo debe respetar las distancias óptimas de visión para el operario.
- Tener en cuenta la estabilidad de la posición del cuerpo.
- Si el esfuerzo es continuado, distribuir la actividad muscular en diferentes miembros.

La posición de los controles es de suma importancia. Un espacio demasiado amplio entre ellos obligará a movimientos innecesarios, mientras que un espacio reducido puede provocar errores. El espacio mínimo depende del tipo de mandos, y por tanto, de la parte del cuerpo utilizado, de cómo deber ser accionado (sucesivamente, simultáneamente, rara vez) y de si se utiliza o no protección personal.

TIPO DE ACCIÓN REQUERIDA	DEDO		MANO		PIE	
	Botón	Interruptor	Palanca	Manivela	Botón	Entre pedales Entre centros
Utilización de un dedo, mano o pie:						
Sucesivamente	2.5	2.5	12.5	12.5	12.5	10      20
Esporádicamente	5	5	10	10	10	15      25
Más de un dedo	1	1.5				

Distancias deseables en cm.

El diseño racional de un panel de mandos facilita su control, reduciendo la fatiga y el

riesgo de error debido a una lectura equivocada. Para ello es útil atenerse a los siguientes principios:

- El mando y el indicador correspondiente deben estar situados lo más cerca posible, estando el mando encima o a la izquierda del indicador.
- Si han de estar en dos paneles distintos ha de haber una correspondencia evidente según la situación de cada uno en el panel.
- Cuando una serie de mandos corresponden a una secuencia de operaciones, su situación debe respetar el orden de la secuencia, de izquierda a derecha.
- Si no existe una secuencia temporal se ordenarán siguiendo criterios de frecuencia de uso o importancia, colocando los más utilizados delante del trabajador, y de lado los de uso menos frecuente.
- Los equipos de dimensiones pequeñas deben destacarse claramente.
- Las empuñaduras o palancas debe estar situadas de tal manera que los movimientos más frecuentes puedan realizarse con los codos hacia abajo y cerca del cuerpo, estando las manos a 25-30 cm. de los ojos.
- Respetar los estereotipos de conducta, contenidos en la siguiente tabla.

ARRIBA	ABAJO
En marcha	Parado
Poner en marcha	Parar
Alto	Bajo
Rápido	Lento
Aumentar	Disminuir
Abierto	Cerrado
Conectado	Desconectado
Automático	Manual
Adelante	Atrás
Positivo	Negativo

Estereotipos de conducta para interruptores.

Estas recomendaciones parecen superfluas, pero cobran especial importancia en trabajos monótonos, que entrañan una reducción de la vigilancia, aumentando, por tanto, el riesgo de error. En estos casos el diseño adecuado de los mandos, especialmente en cuanto a su diferenciación y ubicación, es básico para conseguir un sistema seguro y fiable.

#### 8.7.2.5. DISEÑO DE MANDOS

Cuando se diseñe y fabrique un órgano de accionamiento para ejecutar varias acciones distintas, es decir, cuando su acción no sea unívoca, la acción ordenada deberá visualizarse de forma clara y, si fuera necesario, requerirá una confirmación.

Los órganos de accionamiento tendrán una configuración tal que su disposición, su recorrido y su esfuerzo resistente sean compatibles con la acción ordenada, habida cuenta los principios ergonómicos. Deberán tenerse en cuenta las molestias provocadas por el uso, necesario o previsible, de equipos de protección individual como calzado, guantes...

Los órganos de accionamiento:

- Serán claramente visibles e identificables, y si fuera necesario, irán marcados de forma adecuada.
- Estarán colocados de tal manera que se puedan maniobrar con seguridad, sin vacilación ni pérdida de tiempo y de forma inequívoca.
- Se diseñarán de tal manera que el movimiento del órgano de accionamiento sea coherente con el efecto ordenado.
- Estarán colocados fuera de zonas peligrosas excepto, si fuera necesario, ciertos órganos tales como una parada de emergencia, una consola de aprendizaje para robots...
- Estarán situados de forma que su maniobra no acarree maniobras adicionales.
- Estarán diseñados o irán protegidos de forma que el efecto deseado, cuando pueda acarrear un riesgo, no pueda producirse sin una maniobra intencional.
- Estarán fabricados de forma que resistan esfuerzos previsibles; se prestará una atención especial a los dispositivos de parada de urgencia que puedan estar sometidos a esfuerzos importantes.





## 9. PAUTAS PARA EL DISEÑO DEL PUESTO DE CONDUCCIÓN DE UN AUTOMÓVIL BASADO EN LA ERGONOMÍA.

### 9.1. ESPACIO PARA LA CONDUCCIÓN

#### 9.1.1. ESPACIO DESTINADO AL CONDUCTOR.

Al conducir es necesario realizar algunos movimientos, sin embargo la mayor parte del cuerpo permanecerá inmóvil. Por ello, la adaptación del habitáculo a la persona debe ser en relación, en unos casos, a las medidas dinámicas o funcionales y, en otros, a las medidas estáticas o estructurales. El problema de los datos dinámicos es su alto coste, así pues, suele ser normal usar medidas estáticas con suplementos para sustituir a las medidas dinámicas.

Es importante dejar espacio holgado en la zona baja, zona de piernas y pies, para poder realizar los movimientos sin dificultad e incluso para poder mover las piernas para desentumecerlas. También se debe colocar un punto de apoyo rígido para el pie izquierdo, ya que en el caso de largos viajes por autopista con coches de cambio manual, o en todo momento en el caso de los coches con cambio automático, el pie izquierdo no se usará y debe estar apoyado en una posición tal que pierna y tobillo queden semiflexionados en una postura cómoda.

Para determinar las medidas de los vehículos es necesario considerar un punto de referencia tal y como establece la norma UNE EN ISO 5353, donde se define el Punto de Referencia del Asiento (SIP). En la práctica, este punto es difícil de determinar, por lo que se toma como punto de referencia la Intersección entre el asiento y el respaldo (SRP). El SIP está localizado 97 mm por encima y 130 mm hacia delante del SRP.

##### 9.1.1.1. ACCESO AL PUESTO DEL CONDUCTOR

La apertura de la puerta para poder acceder al habitáculo debe ser lo suficientemente amplia como para que no entorpezca la maniobra de sentarse. Además, una vez sentado el conductor, el tirador de la puerta debe quedar a una distancia tal que no obligue a adoptar posiciones extrañas, como tener que sacar medio cuerpo del coche.

Si el asiento del automóvil tiene una altura, con respecto al suelo, de más de 800 mm. ( $P_1$  de la altura de la espina ilíaca en una población conjunta), se debe facilitar el acceso con un escalón y con pasamanos.

Asimismo, si el asiento del automóvil tiene una altura muy baja se deberían colocar pasamanos para facilitar el acceso. Aunque, en algunos coches, como los deportivos, se suele descartar porque no queda acorde con su estética.

Para un correcto acceso al puesto de conducción debe haber espacio suficiente para introducir las piernas, una buena medida es la de la longitud de un pie. Este espacio libre debe estar entre el borde del asiento y el marco de la puerta. Este espacio para una población conjunta y para el P<sub>99</sub> es de casi 300 mm.

La altura del marco de la puerta, medida desde el plano del asiento debe ser de casi 1000 mm. Para llegar a tal altura, la puerta estará lo más cerca del techo posible. Esta medida está tomada de una población conjunta y para el P<sub>99</sub> de la *altura sentado*.

#### 9.1.1.2. ALTURA DEL PUESTO DE CONDUCTOR

La altura del puesto del conductor desde la regulación más baja del plano del asiento debe ser de algo menos de 1050 mm. Esto es el P<sub>99</sub> de la altura sentado tomado de la población conjunta más un margen de seguridad y movilidad.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Altura, sentado	764	793	859	929	959

Dimensiones en mm. de la altura, sentado, para los diferentes percentiles en una población conjunta.

#### 9.1.1.3. ANCHURA DEL PUESTO DE CONDUCTOR

La anchura del puesto del conductor debe rondar los 750 mm., contando con los reposabrazos. Como se verá más adelante serían unos 500 mm. de anchura del asiento y 200 mm. de los dos reposabrazos.

#### 9.1.1.4. PROFUNDIDAD DEL PUESTO DE CONDUCTOR

La profundidad del puesto del conductor, desde el fondo de los pedales hasta el respaldo del asiento, puede obtenerse de la suma de dos longitudes multiplicadas por unos factores de corrección, dado que la pierna está doblada por la rodilla con un cierto ángulo y que el asiento no es completamente paralelo al suelo. Las longitudes que deben ser sumadas son *longitud de la pierna (altura del poplíteo)* y *longitud rodilla-trasero*.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud de la pierna (altura del poplíteo)	350	368	419	464	487
Longitud rodilla-trasero	523	541	590	644	667

Dimensiones en mm. de la longitud de la pierna y de la longitud rodilla-trasero para los diferentes percentiles en una población conjunta.

El ángulo del asiento con respecto a la horizontal, para una buena postura de sedestación, está alrededor de los 20°. Sabiendo esto, obtenemos que el ángulo en el que se encuentra la articulación de la rodilla, para que los pies se enfrenten a 90° a los pedales, son 115°. Este ángulo es con respecto al asiento, pero con respecto a la horizontal son 45°.

El ángulo aproximado entre respaldo y asiento es de 90°, pero el del asiento con respecto al suelo es de 20°. Esto debe ser así para que el reparto de los pesos sobre las superficies de apoyo sea mejor.

La *longitud de la pierna (altura del poplíteo)* será multiplicada por 0,707 ( $\cos 45^\circ$ ) y la *longitud rodilla-trasero* será multiplicada por 0,940 ( $\cos 20^\circ$ ).

Resultado de la factorización de las longitudes anteriores:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud de la pierna (altura del poplíteo)	350	368	419	464	487
Factor ( $\cos 45^\circ$ )	0,707				
TOTAL	247	260	296	328	344

Dimensiones en mm. de la longitud de la pierna factorizada para los diferentes percentiles en una población conjunta.

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud rodilla-trasero	523	541	590	644	667
Factor ( $\cos 20^\circ$ )	0,940				
TOTAL	491	508	554	605	627

Dimensiones en mm. de la longitud rodilla-trasero factorizada para los diferentes percentiles en una población conjunta.

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud de la pierna (altura del poplíteo), factorizada.	247	260	296	328	344
Longitud rodilla-trasero, factorizada.	491	508	554	605	627
PROFUNDIDAD TOTAL	739	769	851	933	971

Profundidad en mm. del habitáculo del conductor, obtenido para los diferentes percentiles en una población conjunta.

Así pues, la profundidad máxima del habitáculo del conductor debe ser de unos 1000 mm. con una regulación de unos 250 mm. Quedando la distancia entre 750 y 1000 mm. Esta medida va, desde el fondo de los pedales hasta la intersección asiento-respaldo (SRP).

### 9.1.2. DIMENSIONES Y DISEÑO DEL ASIENTO. AJUSTE.

Las dimensiones del asiento y su adaptación al conductor es fundamental. El mantenimiento prolongado de una mala postura es causa, primero de fatiga muscular, después, de dolor y en casos extremos, tras largo periodo, de deformaciones y otras anormalidades. Se ha puesto de manifiesto en diversos estudios que, cuando se está sentado, bastan unos pequeños cambios en la postura, tales como ligeras flexiones o extensiones del tronco o alteraciones del ángulo de la rodilla cuando el pie está apoyado en el suelo, para obtener como resultado cambios importantes en la actividad de los músculos del tronco y piernas de forma que, por ejemplo, disminuye la actividad de los músculos erectores de la columna vertebral. Así pues, el asiento debe proporcionar una postura compatible con los requisitos anatómicos y fisiológicos y además permitir cambiarla a voluntad.

Otro requisito fundamental del asiento es que proporcione un reparto equilibrado de la presión sobre su superficie de apoyo, con un máximo en la zona en contacto con las tuberosidades isquiales (aproximadamente el 75%), disminuyendo progresivamente en todas direcciones hasta hacerse mínima en el confín de los muslos.

Tampoco debe existir presión en la zona adyacente al poplíteo para evitar compresión de los tejidos blandos de la pierna y en los vasos y nervios que pasan por esa zona. Para ello, aparte de diseñar una profundidad de asiento para los percentiles más bajos, se debe redondear el acolchado para minimizar los posibles contactos.

Por último, es deseable que el tronco permanezca estable, lo que se consigue mediante el respaldo adecuado, que también contribuye a eliminar parte del peso que, en otro caso, recaería sobre la zona de asiento propiamente dicha. La función del respaldo puede mejorarse con los reposabrazos.

#### 9.1.2.1. DIMENSIONES Y GEOMETRÍA DEL ASIENTO Y SISTEMA DE AJUSTE

Es fundamental que el asiento pueda ajustarse en altura, y que la altura inferior esté pensada para el máximo percentil posible. Ya que si la altura de la parte superior del asiento con respecto al suelo es excesiva, se produce una compresión en la cara inferior de los muslos, lo cual puede originar sensación de incomodidad y perturbación en la circulación sanguínea.

También es importante evitar que las personas más altas estén con las piernas encogidas, de ahí la obligatoriedad de la regulación.

La altura del asiento debe tomarse del dato antropométrico *Longitud de la pierna (altura del poplíteo)*, la cual nos marca la altura del plano del asiento.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud de la pierna (altura del poplíteo)	350	368	419	464	487

Dimensiones en mm. de la longitud de la pierna para los diferentes percentiles en una población conjunta.

Como la altura del poplíteo no va a medirse en la vertical sino con una inclinación de  $45^\circ$ , se debe factorizar<sup>83</sup> dicha longitud. Tal como se hizo para saber la profundidad del habitáculo.

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud de la pierna (altura del poplíteo)	350	368	419	464	487
Factor ( $\sin 45^\circ$ )			0,707		
TOTAL	247	260	296	328	344

Dimensiones en mm. de la longitud de la pierna factorizada para los diferentes percentiles en una población conjunta.

La posición más baja de la regulación debe estar en torno a los 250 mm. El rango de regulación de la altura del asiento debe estar en torno a los 100 mm, de tal manera que se cubran todas las medidas.

La inclinación del plano del asiento debe rondar los  $20^\circ$ , con una regulación que permita ir desde los  $10^\circ$  hasta los  $30^\circ$  de inclinación con respecto al suelo, de esta manera, el peso del tronco quedará mejor repartido entre el asiento y el respaldo. Si la inclinación fuese mayor, el reparto de pesos sería mayor, pero el exceso de comodidad es contraproducente a la hora de estar alerta frente a riesgos durante la conducción, es decir, provocaría un aumento en los tiempos de respuesta. Con una inclinación menor, el reparto de pesos sería muy pobre y provocaría fatiga muy rápidamente.

La anchura debe estar en relación con la anchura de las caderas en posición sentada ( $P_{95}$  como mínimo) más los suplementos adecuados para permitir el movimiento. Así pues la anchura del asiento debe tomarse del dato antropométrico *anchura de las caderas, sentado*.

<sup>83</sup> Para los asientos de las filas posteriores no se debe usar el mismo factor de corrección, puesto que la profundidad suele ser menor, de tal manera que el ángulo que formará la pierna con el suelo será mayor, cercana a los  $80^\circ$ .

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Anchura de las caderas, sentado	294	316	364	417	445

Dimensiones en mm. de la anchura de las caderas, sentado, para los diferentes percentiles en una población conjunta.

La anchura del asiento no debe ser menor a 450 mm. Aunque es recomendable que sea algo más, en torno a 500 mm para tener margen de movimiento.

La profundidad del asiento debe tomarse del dato antropométrico *longitud rodilla-trasero*.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud rodilla-trasero	523	541	590	644	667

Dimensiones en mm. de la longitud rodilla-trasero para los diferentes percentiles en una población conjunta.

La profundidad del asiento no debe ser mayor a 500 mm, lo ideal sería que fuese algo menor, de unos 450mm para dejar más libertad a la parte inferior de las piernas de las personas de menor tamaño, ya que la condición más desfavorable es la presión sobre la cara interna del muslo en la zona adyacente al poplíteo, dado que la arista frontal del asiento podría comprimir la zona posterior de las rodillas entorpeciendo el riego sanguíneo, además el roce de la ropa contra el asiento puede causar irritación cutánea y molestias.

Para diseñar la correcta geometría del asiento hay que tener muy en cuenta la anatomía y la fisiología humanas. La superficie de apoyo es clave, puesto que la magnitud de la presión a la que están sometidas las nalgas varía con ella. Una superficie plana brinda menos contacto muscular para el intercambio de carga, mientras que una superficie curva, anatómica, permite una mayor superficie de contacto. Además, al contener la masa muscular impide la deformación, haciendo que exista mayor espesor, traumatizando menos al músculo, lo que hace que el cuerpo descansa más.

### 9.1.2.2. DIMENSIONES Y GEOMETRÍA DEL RESPALDO Y SISTEMA DE AJUSTE

La altura del respaldo debe tomarse del dato antropométrico *altura de los hombros, sentado*.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Altura de los hombros, sentado	500	524	579	635	660

Dimensiones en mm. de la altura de los hombros, sentado, para los diferentes percentiles en una población conjunta.

La altura del respaldo debe estar en torno a los 600 mm. Si existe posibilidad de regulación, estaría bien entre 500 y 650 mm.

La anchura del respaldo debe tomarse del dato antropométrico *anchura de hombros, biacromial*, la dimensión normalizada es la comprendida entre ambos acromiones.

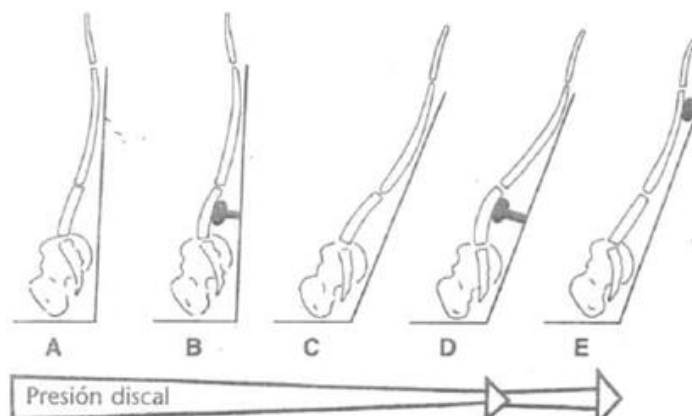
Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Anchura de los hombros, biacromial	281	304	372	432	453

Dimensiones en mm. de la anchura de los hombros para los diferentes percentiles en una población conjunta.

La anchura en la parte superior del respaldo debe ser algo superior a 450 mm, para favorecer los movimientos de los sujetos más grandes.

El respaldo del asiento, para conseguir que el tronco permanezca estable y contribuir a eliminar parte del peso que recae sobre el asiento debe contar con una regulación ajustable entre  $85^\circ$  y  $120^\circ$  con respecto al suelo. Si no cuenta con regulación, el ángulo correcto sería  $110^\circ$ , ya que es con el que se consiguen unas menores cargas. El ángulo con respecto al plano del asiento debe rondar los  $90^\circ$ .



Influencia de la inclinación del respaldo y el apoyo para la espalda sobre las cargas de la columna lumbar.

Siendo el objetivo del respaldo un adecuado ajuste con la espalda, y con la finalidad de confeccionar un respaldo adecuado a la mayoría de personas, se debe diseñar este con la forma anatómica de la columna vertebral, teniendo en cuenta las distintos tipos de raquis, y procurando que no impida el cambio de posición del cuerpo y la movilidad de este. Además, se debe poder regular la altura del respaldo de modo que se adapte bien a la curva natural de la espalda. Los ángulos del respaldo deben permitir un apoyo amplio y cómodo.



Vista lateral izquierda de los segmentos de la columna vertebral.

La forma anatómica de la columna vertebral a la que hay que adaptarse para diseñar el asiento tiene cuatro curvas, pueden apreciarse en la siguiente imagen (de arriba hacia abajo):

- Curva cervical.
- Curva torácica.
- Curva lumbar.
- Curva sacra.



Curvas de la columna vertebral.



La altura de la convexidad del respaldo debería obtenerse de la *altura lumbar*, esta dimensión no es normalizada y es difícil de obtener al no poder contar con referencias óseas precisas, por ello es necesaria una regulación, el rango de regulación de altura del apoyo lumbar estará entre los 150 y 200 mm aproximadamente, desde la altura del asiento.

La profundidad del soporte lumbar debe estar entre los 50 y los 80 mm, los valores ideales son los cercanos a 80 mm.

Los laterales del respaldo deben sobresalir con respecto de la zona central, abrazando la espalda del conductor, de modo que se amolden a la persona. De esta manera se consigue que la superficie de apoyo sea máxima. Es importante principalmente en la zona lumbar, puesto que es la que más peso soportará.

Para ejemplificar las diferencias entre un respaldo recto y uno que se adapta totalmente a la espalda, puede observarse cómo, en la imagen siguiente, sobre un análisis de elementos finitos, las zonas lumbar y dorsal de la derecha sufren mucho menos que las de la izquierda. El análisis de la derecha muestra la columna apoyada sobre una superficie acolchada pero lisa, mientras que la de la izquierda muestra la columna apoyada sobre una superficie, no solo acolchada, sino que se adapta a la geometría de la espalda.

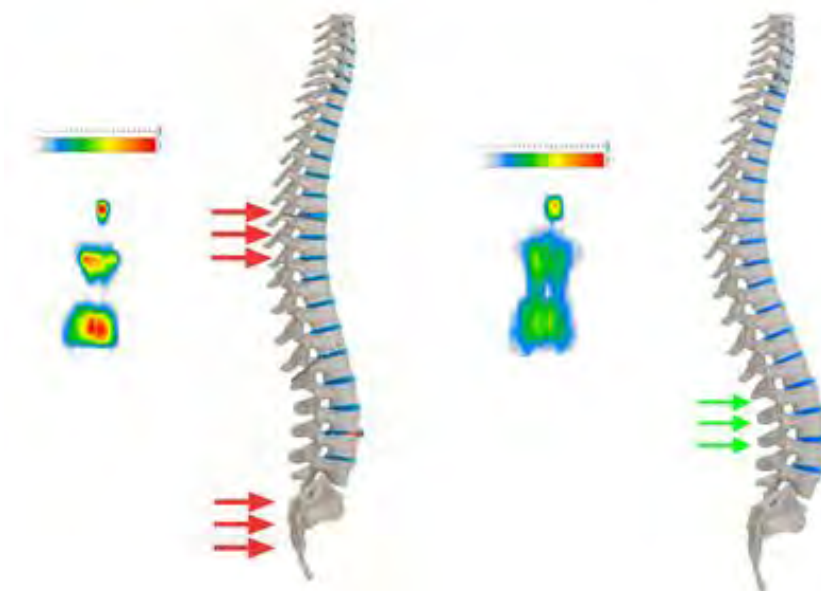


Imagen de un análisis de elementos finitos donde se aprecian las diferencias entre un apoyo plano y un apoyo adaptado a la columna vertebral.

### 9.1.2.3. SUSPENSIÓN DEL ASIENTO Y AMORTIGUAMIENTO DE VIBRACIONES

Las vibraciones del coche ya sea por el movimiento del vehículo o por el motor, provocan incomodidad en el conductor, haciendo que aparezca antes el cansancio e incluso llegando a provocarle mareos.



El conductor de un vehículo sufre dos tipos de vibraciones, las vibraciones de cuerpo completo y las vibraciones transmitidas a las manos. Las vibraciones que afectan al cuerpo completo, se transmiten a través del asiento y el cuerpo transmite las vibraciones a las extremidades y a la cabeza. Las vibraciones que afectan a las manos vienen transmitidas por el volante y la palanca de cambios.

Cuando sea posible se dará preferencia a la reducción de las vibraciones en la fuente. Para ello puede ser necesario reducir las ondulaciones del terreno o la velocidad de desplazamiento de los vehículos. Aunque la reducción desde el diseño de las vibraciones en un automóvil se consigue mejorando la suspensión del automóvil o los mismos asientos, de manera que atenúen aún más las vibraciones. La mayoría de los asientos existentes presentan resonancia a bajas frecuencias, lo que hace que se produzcan mayores magnitudes de vibración vertical en el asiento que en el piso. A altas frecuencias suele producirse una atenuación de las vibraciones. En la práctica, las frecuencias de resonancia de los asientos habituales están en la región de los 4 Hz. La amplificación en resonancia viene determinada en parte por la amortiguación del asiento. Un aumento de la capacidad de amortiguación del relleno del asiento tiende a reducir la amplificación en resonancia pero aumenta la transmisibilidad a altas frecuencias.

Las variaciones de transmisibilidad entre asientos se traducen en considerables diferencias en cuanto a la vibración que experimenta el conductor.

Hay asientos que llevan un mecanismo de suspensión separado debajo del panel del asiento. Se utilizan en algunos vehículos todo terreno, así como en camiones y autocares, y sus frecuencias de resonancia son bajas (en torno a 2Hz) y por lo tanto pueden atenuar las vibraciones a frecuencias superiores a unos 3 Hz.

#### 9.1.2.4. REPOSACABEZAS Y AJUSTE

La función primordial del reposacabezas no es la de dar comodidad, sino la de minimizar las lesiones cervicales en caso de colisión, en especial en caso de colisión por alcance. Los reposacabezas son, por tanto, un elemento de seguridad pasiva.

La altura del reposacabezas, desde el plano del asiento, debe tomarse del dato antropométrico *altura del punto cervical, sentado*, es la altura de la apófisis espinosa de la séptima vértebra cervical.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Altura del punto cervical, sentado	552	574	631	688	714

Dimensiones en mm. de la altura del punto cervical, sentado, para los diferentes percentiles en una población conjunta.

Como la altura del respaldo rondará los 600 mm y hay personas que tienen la altura del punto cervical por debajo, en caso de colisión por alcance, la cabeza golpeará en el respaldo en lugar de en el reposacabezas. Así pues, estarán protegidas. Para las personas más altas, el reposacabezas debe poder regularse hasta los 720 mm.

La altura anterior corresponde a la zona de apoyo de las cervicales, para saber la altura superior final del reposacabezas, se podría tomar la *altura sentado*, y restarle unos centímetros, ya que no es necesario que el reposacabezas suba tanto.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Altura sentado	764	793	859	929	959

Dimensiones en mm. de la altura sentado para los diferentes percentiles en una población conjunta.

La altura final del reposacabezas, en su punto superior, debe rondar los 850 mm.

#### 9.1.2.5. REPOSABRAZOS Y AJUSTE

En un vehículo, la función principal del reposabrazos es la de cargar con el peso de los brazos, ya que en este caso, no ayudan al usuario a sentarse y levantarse.

Las personas con anchura de torso mayor deberán servir de referencia para la colocación en el plano transversal u horizontal de los reposabrazos, mientras que su altura estará determinada por la altura de codos más elevada, todo esto debido a que las personas con poca anchura de torso o poca altura de codos podrán adaptarse abduciendo los brazos o elevando los hombros.

La altura del reposabrazos, desde el plano del asiento, debe tomarse del dato antropométrico *altura del codo, sentado* (distancia vertical desde una superficie de asiento horizontal hasta el punto óseo más bajo del codo flexionado en ángulo recto, con el antebrazo horizontal.).

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Altura del codo, sentado	169	182	224	269	294

Dimensiones en mm. de la altura del codo, sentado, para los diferentes percentiles en una población conjunta.

De esta manera la altura correcta para colocar los reposabrazos será en torno a los 250 - 300 mm. desde el plano del asiento. Si la altura fuese regulable, estaría bien que barriese el rango que va desde los 200 hasta los 300 mm.

La separación de los reposabrazos debe tomarse del dato antropométrico *anchura entre codos*.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Anchura entre codos	335	367	461	542	574

Dimensiones en mm. de la anchura entre codos para los diferentes percentiles en una población conjunta.

La separación entre los reposabrazos será de unos 550 mm., esta es una medida que está muy condicionada, puesto que el reposabrazos izquierdo irá integrado en la puerta del conductor y el derecho junto al asiento, así pues dependerá de más factores.

La longitud de los reposabrazos debe tomarse del dato antropométrico *longitud codo-puño*.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud codo-puño	275	292	337	376	393

Dimensiones en mm. de la longitud codo-puño para los diferentes percentiles en una población conjunta.

La longitud de los reposabrazos debe ser de entre 250 y 400 mm., el reposabrazos de la derecha puede ser más corto para facilitar la maniobra de cambio de marcha, de tal manera que la muñeca quede libre cuando el brazo está apoyado.

La anchura del reposabrazos debe ser la suficiente como para poder dejar el brazo descansando y a la vez dejar holgura para permitir movimiento, sería ideal entre 100 y 150 mm para el del brazo derecho del conductor. Para el brazo izquierdo, el ancho se ve reducido, puesto que va montado sobre la puerta.

Si el reposabrazos fuese totalmente regulable, sería perfecto que permitiese inclinaciones sobre sus tres ejes, de tal manera que pudiese aproximarse o separarse del conductor, entre 30° hacia dentro y 15° hacia fuera, que tuviese una regulación en inclinación, entre -30° y 0°, y otra regulación de inclinación lateral, que debería estar entre +10° y -10°.

#### 9.1.2.6. TAPIZADO Y ACOLCHADO DEL ASIENTO

El material de revestimiento del asiento debe ser de tejido transpirable y flexible y que tenga un buen acolchamiento. El material de la tapicería y el del revestimiento interior tienen que permitir una buena disipación de la humedad y del calor. Así mismo, conviene evitar tanto los materiales deslizantes como aquellos en los que no permiten deslizamientos voluntarios.

Si el acolchado del asiento es de espuma de baja densidad, el uso continuo puede producirle deformaciones permanentes, de modo que el apoyo ya no será el adecuado. El apoyo inadecuado, acolchado insuficiente y las deformaciones por uso pueden causar discomfort, provocando fatiga de piernas y espalda.

Existe la posibilidad de emplear espuma viscoelástica para el acolchado de respaldo y asiento, haciendo que se adapten a la geometría del cuerpo, sea del tamaño y forma que sea, siempre y cuando no haya espacios vacíos.

El material viscoelástico (poliuretano flexible) fue desarrollado por la NASA con unas propiedades únicas e innovadoras para aliviar la presión del cuerpo. Este tipo de material sintético nació como resultado directo del programa espacial en los años sesenta, aunque fue a principios de los 90 cuando los investigadores consiguieron incorporarlo al uso doméstico. El material viscoelástico, incorporado en artículos del descanso, en un principio se utilizaba sobre todo en hospitales, pero en los últimos años su comercialización se ha generalizado tanto que este tipo de colchón ya se encuentra en muchos hogares. Entre las propiedades del material viscoelástico destaca su gran adaptabilidad y su grado de firmeza medio. Los colchones de espuma viscoelástica se componen de varias partes de densidad variable realizados con una espumación llamada de *alta resiliencia*, desde 18 kg/m<sup>3</sup> en las gamas más básicas, hasta 90 kg/m<sup>3</sup>. Esta densidad determina que el colchón sea más blando o más duro, es por eso, que una densidad media es más adecuada que una muy blanda o demasiado dura. En el primer caso puede resultar un soporte insuficiente para el cuerpo y la alineación saludable de la columna y en el segundo caso, la dureza del material puede hacer que la *ingravidez*, propia de este material, desaparezca, además de que la transpirabilidad sea casi nula puesto que esa alta densidad no permite que el poro esté apenas abierto para que el aire circule.

La adaptabilidad de la espuma viscoelástica elimina la presión de la superficie de descanso sobre el cuerpo, permitiendo mantenerse más tiempo en una posición óptima. No obstante. También es conveniente evitar superficies que provoquen la sensación de encajonamiento ya que, el cuerpo tiene una necesidad natural de movimiento.

El material viscoelástico moderno y de buena calidad está formado por células abiertas y permite que el aire circule libremente, evitando la sensación. Su estructura es en forma de nido de abeja, lo que garantiza la ausencia de calor; además, para garantizar una higiene máxima, y gracias a los avances tecnológicos de investigación y desarrollo, los materiales incluyen tratamientos antiácaros, antibacterias y antihongos, útiles durante toda la vida del relleno.

Para el tapizado, es conveniente contar con un tejido que permita el paso de humedad, evite el calor, el deslizamiento y sea fácil de mantener limpio. El resto es cuestión de gustos.

### 9.1.3. CAMPO DE VISIÓN.

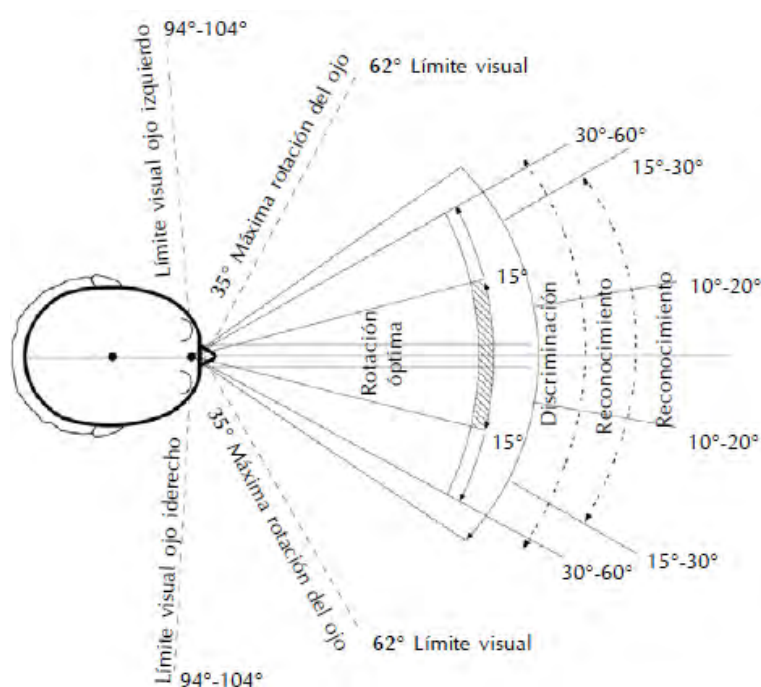
Para tener una correcta visión durante la conducción se deberá tener en cuenta la posición que la cabeza adoptará. Es necesario saber los ángulos visuales necesarios para la conducción, procurando no realizar grandes flexiones del cuello. Se debe tener en cuenta lo siguiente:

- De  $0^\circ$  a  $15^\circ$  por debajo de la horizontal, no reviste carga pudiendo la persona trabajar sin problemas durante períodos de tiempo largos con visualización constante.
- De los  $15^\circ$  hasta los  $45^\circ$  por debajo de la horizontal, requiere a medida que aumenta, más esfuerzo, por lo tanto variará en forma inversamente proporcional el tiempo de trabajo sin descanso.
- La visualización por encima de la línea horizontal produce un rápido cansancio en los músculos de los hombros y el cuello.

Toda la información visual necesaria debe estar dispuesta de tal manera que la cabeza no tenga que inclinarse ni ladearse demasiado, evitando giros de cabeza bruscos y pérdida de tiempo en el que el conductor no tiene la vista en la carretera.

#### 9.1.3.1. CAMPO DE VISIÓN DIRECTO

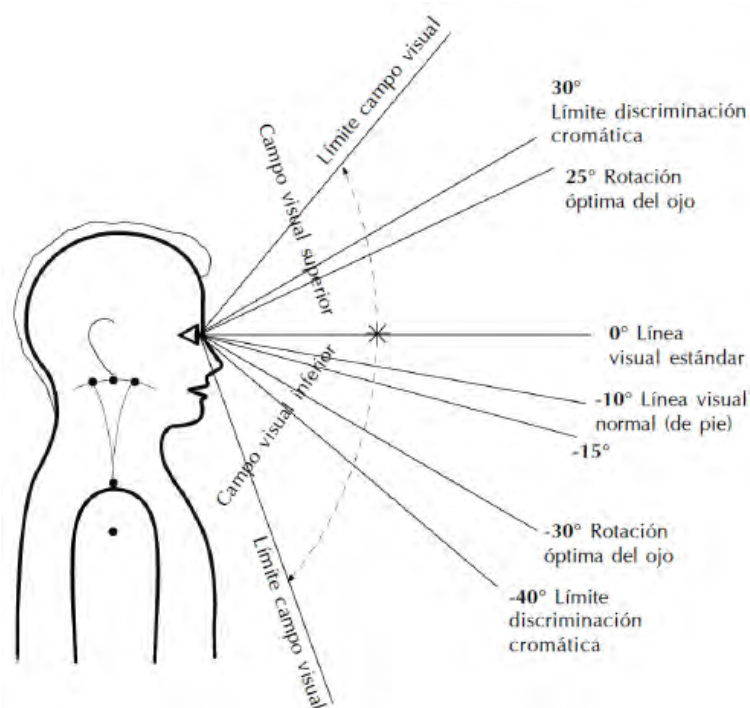
La zona que abarca la vista es el llamado campo visual, que puede verse afectado por varios factores como el diseño del propio vehículo, las condiciones climáticas, el tránsito, la velocidad y el estado físico del conductor entre otros. Es el espacio que abarcan los ojos en reposo.



Campo de visión horizontal.

El área de visión perfecta en el plano horizontal se produce en un cono con un ángulo de apertura de  $3^\circ$ , en el que todos los objetos que se encuentran dentro de este área se perciben con absoluta nitidez. La visión sigue siendo clara con un ángulo de  $5$  ó  $6^\circ$ . A medida que dicho ángulo de apertura se va ensanchando, la imagen de los objetos va dejándose de percibir con claridad, hasta perderse aproximadamente en el ángulo de  $20^\circ$ .

En el plano vertical se reduce el cono de visión perfecta, aproximadamente en un tercio de las cifras dadas para el plano horizontal. De esta manera, con un ángulo de  $5,8^\circ$  el conductor ve el 98% de los símbolos y letras. Con un ángulo de  $15,4^\circ$  los aciertos disminuyen al 66%.



Campo de visión vertical.

En la visión binocular, el campo horizontal abarca unos  $180^\circ$  y el campo vertical, de  $120$  a  $130^\circ$ .

El conductor puede ampliar su campo visual fisiológico, mediante el movimiento de ojos, cuello y tronco.

Así pues el correcto posicionamiento de la cabeza será aquella en la que en la posición de reposo pueda ver la carretera con un ángulo de entre  $0$  y  $15^\circ$ . A partir de ahí se colocarán los instrumentos necesarios para la conducción, aunque los más habituales (pedales, **volante, palanca de cambios...**) se usan sin tener que mirarlos.

#### 9.1.3.2. CAMPO DE VISIÓN INDIRECTA

La visión indirecta o periférica es aquella percepción visual de objetos que se encuentran fuera del cono de visión perfecta, y por tanto se considera visión difusa.



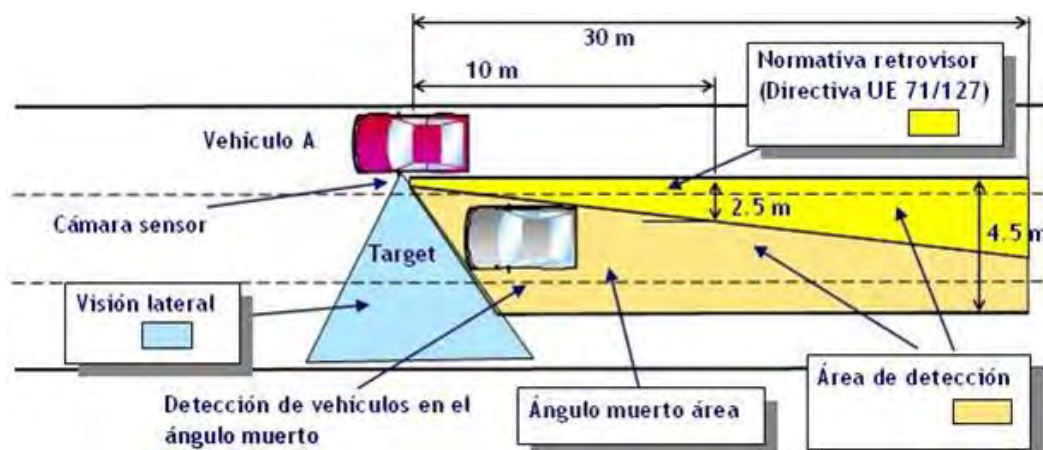
Cualquier sensación que se produzca en este campo de visión periférica hace que el conductor gire la cabeza hacia ese punto con tal de obtener un enfoque perfecto de lo que ha llamado su atención, requiriendo en total algo más de 0,5 segundos.

Es importante que el diseño del coche permita la visión en las inmediaciones del vehículo. Sobre todo en las zonas de visión indirecta, puesto que son las zonas en las que no esperas encontrar a nadie.

### 9.1.3.3. RETROVISORES

Los retrovisores deben estar colocados en un ángulo, con respecto a los ojos del conductor, que permitan que este puede observar en ellos sin tener que mover el cuerpo. Como mucho, sería aceptable mover el cuello para tener que leer la información que dan los retrovisores. Para ello deben situarse en una posición horizontal de  $60^\circ$  y vertical de  $30^\circ$ .

Los retrovisores laterales han tenido un problema a lo largo de los años que parece que se está solucionando. Y es el llamado ángulo muerto. A este problema, se enfrentan todos los conductores día a día, y es la posibilidad de que cuando se va a hacer un cambio de carril, ya sea en una autovía o autopista o en una incorporación, se tenga un vehículo situado en el denominado ángulo muerto que todos los coches tienen. Este fenómeno se produce cuando un vehículo se coloca entre el espacio que se genera entre el ángulo de visión máximo y el ángulo de visión que nos permiten los retrovisores. Esto provoca que el conductor sea incapaz de ver lo que hay en esa zona, lo cual genera una situación de peligro en el momento en que este pretende realizar una maniobra hacia ese lado. Hasta hace poco la solución era girar la cabeza o acercar el cuerpo hacia el retrovisor para cambiar el ángulo de visión.



Ángulo muerto y áreas de visión.

En la imagen anterior podemos observar como la zona marcada con el color azul, es el campo de visión lateral que tiene el conductor del vehículo rojo. La zona pintada de amarillo claro sería el campo de visión que nos proporciona el retrovisor lateral y la zona



amarilla más oscura representa el ángulo muerto. En este caso, tendríamos al vehículo gris situado justo en el ángulo muerto, de modo que el conductor no podría verlo de ninguna manera.

La industria del automóvil ya ha conseguido integrar tecnologías en los coches que son capaces de detectar vehículos que estén en esa zona y de distintas formas avisan a los conductores de su presencia. Lo más habitual es ver cómo se ilumina un indicador en el propio espejo retrovisor.

#### 9.1.3.4. PARASOLES

Estos elementos son muy importantes para evitar deslumbramientos, sobre todo en los momentos del amanecer y atardecer, cuando el ángulo del sol es muy bajo e incide directamente sobre los ojos.

Es importante que se puedan quitar y poner fácil y rápidamente. Como también, que puedan pivotar sobre un lateral para evitar el deslumbramiento por los lados.

Se podría estudiar el integrar una lámina de plástico oscurecido a modo de gafa de sol en los parasoles, a través del cual se pueda ver y conducir y que nos evite el deslumbramiento. Podría colocarse a modo de segunda solapa o solapa doble.



Ejemplo de parasol de un vehículo.

## 9.2. UBICACIÓN Y DISEÑO DE LOS MANDOS.

Los controles y palancas de uso más habitual deben situarse dentro de la zona de comodidad (establecida en la UNE-EN ISO 6682) comprendida entre los 150 y 550 mm para el alcance frontal y los -500 y 500 mm para el alcance lateral, medidos desde el SIP.

Los controles y palancas de uso secundario deben situarse dentro de la zona de accesibilidad (establecida en la UNE-EN ISO 6682) comprendida entre los -400 y 800 mm en el alcance frontal y los -900 y 900 mm en el alcance lateral, medidos desde el SIP.

Además, el volante y sus controles, así como la palanca de cambio de marchas, deben estar en la línea del corazón del conductor o por debajo, ya que los brazos se cansan más rápidamente si deben permanecer por encima.

### 9.2.1. VOLANTE.

#### 9.2.1.1. POSICIÓN DEL VOLANTE

La posición del volante con respecto al conductor debe tener regulación en altura y si es posible, también en inclinación. La regulación en profundidad se debe conseguir con el asiento.

Una buena manera de que el conductor se posicione con respecto al volante es colocando la espalda en el asiento y estirar los brazos hacia delante. Con los brazos estirados, las muñecas deben quedar encima del volante, de tal manera que cuando se agarre por los lados el volante los brazos queden semiflexionados. Teniendo los brazos semiflexionados se puede actuar con agilidad y precisión.

La distancia desde el respaldo del asiento al volante puede conseguirse de diversos datos antropométricos, como son *longitud hombro-codo*, *longitud codo-punta de dedos* y *longitud mano*. Sumando los dos primeros y restando el tercero, obtenemos la *longitud hombro-muñeca*.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud hombro-codo	291	312	356	395	410
Longitud codo-punta de dedos	381	396	448	495	514
Longitud mano	155	163	183	202	209
Longitud hombro-muñeca	517	545	621	688	715

Dimensiones en mm. de la longitud hombro-muñeca para los diferentes percentiles en una población conjunta.

De la tabla anterior se puede obtener que la regulación en profundidad del asiento debe ser de al menos, por la posición del volante, de 200mm. Anteriormente se había dicho que la regulación en profundidad del asiento debía rondar los 250mm. así pues no hace falta rectificar esa dimensión.

La correcta posición de las manos en el volante debe estar entre las *tres menos cuarto* y las *dos menos diez*, de esta manera las manos estarán lo más separadas posible. Colocando las manos en esta posición, debemos tener los codos con un ángulo entre los 90° y los 120°. Una referencia sería poder apoyar los dedos pulgares en los radios horizontales del volante. En las curvas, la mano que sube debe ser la que empuje más el volante. Es decir, en una curva a derechas empujará más la mano izquierda y la derecha ayuda a controlar y ganar precisión. En curvas cerradas en carretera, cambios de dirección en ciudad o maniobras, las manos se ven obligadas a cambiar la posición antes descrita para permitir girar más de media vuelta de volante. Para mover las manos correctamente por el volante, se debe anticipar, instantes antes del giro, el colocar la mano del lado del giro por encima de la mano contraria, coger el volante y girarlo mientras la mano contraria se queda quieta hasta que las manos vuelven a estar lo más separadas posible, momento en el que la mano contraria toma el mando y hace girar el volante hasta donde sea necesario.

Además, se debe coger siempre el volante por el lado exterior, nunca por el interior. En curva nunca se dejarán las manos juntas, siempre deben estar separadas para ganar precisión y control del vehículo. Se girará siempre con las dos manos, tan solo en maniobras en parado se puede usar una sola para girar.

La altura del volante puede ajustarse tomando como referencia la parte superior del volante, y ajustándole al nivel del cuello. Se debe tener en cuenta que una altura excesiva obligará a subir los brazos, causando fatiga en la zona del cuello y los hombros, y una altura demasiado baja, lleva al conductor a usar solo la parte superior del volante, cuando deberíamos mover con facilidad las manos por toda su circunferencia.

#### 9.2.1.2. DIÁMETRO DEL VOLANTE

El diámetro del volante debe ajustarse al tamaño y tipo de vehículo. Los automóviles deportivos utilizarán volantes con un diámetro menor, para realizar cambios de sentido más rápidos con movimientos de dirección más pequeños. En el caso de los automóviles más grandes se debe recurrir a volantes de mayor tamaño, para que al cambiar de dirección se produzcan menos balanceos. Esto no pasa en los coches deportivos debido al punto de gravedad, que en los coches familiares, por ejemplo, está más alto y los giros muy cerrados a altas velocidades pueden provocar incluso el vuelco del vehículo.

#### 9.2.1.3. GEOMETRÍA DEL VOLANTE

El volante de dirección puede tener infinidad de geometrías diferentes. Antiguamente los volantes más económicos contaban únicamente con dos radios, pero en la actualidad, que en los volantes de los coches ya siempre se cuenta con la integración del *airbag* e infinidad de botones para diferentes funciones, lo normal es que sea multirradio.

Es importante el espesor del volante o diámetro de la circunferencia exterior del volante, debido a que si este es muy grande o demasiado pequeño, la presa palmar no será firme y provocará un posible deslizamiento relativo entre mano y volante. Esto se debe a que si el espesor es demasiado grande no sólo resultará incómodo sino que incluso se pierde firmeza; si por el contrario es demasiado fino, el pulgar no participaría en la presa, evitando el correcto bloqueo y provocando el posible deslizamiento.

También resulta útil tener unas hendiduras en el volante, ya que no solo ofrecen un mejor agarre y aumentan la seguridad a la hora de conducir, sino que además marcan la correcta posición de las manos sobre el volante.

#### 9.2.1.4. FUERZA DE ACCIONAMIENTO

Con el giro del volante se giran las ruedas, y éstas deben deslizar por la carretera para poder tomar la nueva dirección, esto hace que aparezca una fuerza sobre el neumático que tiende a alinear la dirección de la rueda con la del vehículo. Esta fuerza se debe principalmente a la resistencia del neumático a ser deformado. Para ayudar al conductor a vencer esta fuerza existe la *dirección asistida*. Con ella, la fuerza que deba hacer el conductor se reduce porque gran parte la asume dicho sistema de *dirección asistida*. La fuerza de autoalineamiento o resistencia que haga la rueda dependerá sobretodo de la velocidad. A menor velocidad mayor resistencia.

Existen diferentes tipos de dirección asistida. Entre ellas, las direcciones electro-hidráulicas o eléctricas, al estar controladas electrónicamente pueden generar una asistencia variable en función de la velocidad. De esta forma se hace la conducción más cómoda. A velocidades bajas se necesitan pares mayores para girar las ruedas, si la dirección genera más asistencia, el conductor debe aplicar menos fuerza sobre el volante, lo que resulta en un esfuerzo menor por parte del conductor. Por el contrario a velocidades mayores donde el par a aplicar es pequeño, la dirección apenas debería ayudar al conductor y será éste el que deba hacer el esfuerzo. En este caso, si la dirección aplicara gran parte del esfuerzo necesario para girar las ruedas, el conductor debería aplicar una mínima parte, dando una sensación de inseguridad, por la falta de *tacto* o información.

Así pues, la fuerza de actuación necesaria para el giro del volante no debe ser muy elevada, nunca más de 230N, pero tampoco debe ser demasiado baja, dado que perderíamos control sobre la dirección del coche y, por ejemplo, una racha de viento lateral podría hacer que el coche girase *solo*.

Existen más tecnologías para reducir la fuerza necesaria para el giro del volante, aparte de la dirección asistida, como por ejemplo el *Steer-by-Wire* o el *ActiveSteering* de BMW.

#### 9.2.1.5. MATERIAL QUE RECUBRE EL VOLANTE

El material que recubre el volante debe cumplir una serie de requisitos mínimos. Entre los cuales están:

- Dotar al conductor de una correcta sujeción del volante.
- Evitar deslizamientos involuntarios.
- Disipar la humedad de las manos del conductor.
- Causar sensación de comodidad.

Aparte también se le puede pedir que sea cómodo, que sea bonito, que sea duradero, que **no se desprenda o se deshaga con facilidad, que no coja demasiada temperatura...** Hay que tener cuidado con las fundas, pues puede existir desplazamiento relativo de la funda con respecto al volante.

Para ello el mejor material es la piel o el cuero. Ya que es un material natural de alta resistencia y flexibilidad y que proporciona un alto grado de *confort*.

La mejor opción es colocar cuero perforado, para mejorar la transpirabilidad, al menos en las zonas de más uso.



Ejemplo de volante de cuero perforado.

#### 9.2.1.6. DISPOSICIÓN DE MANDOS DENTRO DEL VOLANTE

En el interior del diámetro que forma el volante debemos contar con una serie de mandos necesarios durante la conducción. Estos mandos deben situarse ahí debido a la urgencia de su accionamiento. Un ejemplo claro de este mando es el claxon.

El claxon debe estar distribuido por el centro del volante de tal manera que podamos evitar una situación de peligro lo antes posible presionándolo.



Típico accionamiento del claxon.

Otros posibles mandos que pueden situarse dentro del volante para evitar distracciones son los que controlan el aparato de radio, como el cambio de emisora o de pista, la subida y bajada del volumen o directamente la opción de silenciar el reproductor presionando únicamente un botón. Aunque, por supuesto, no es necesario situarlos en este lugar.

También sería recomendable tener la tecla con la que se cuelga o descuelga el teléfono conectado al manos libres.

#### 9.2.1.7. DISPOSICIÓN DE MANDOS ALREDEDOR DEL VOLANTE

En la horizontal, a ambos lados del volante, se sitúan aquellos accionamientos necesarios para la conducción pero que no requieren urgencia en su uso, como pueden ser los **intermitentes, las luces, los limpiaparabrisas, los mandos de la radio...** Estos accionamientos deben usarse sin tener que soltar las manos del volante y tienen que poder usarse de forma intuitiva, de tal manera que no haya que buscar dónde está cada cosa, pues en caso de lluvia, por ejemplo, puede ser peligroso no saber desde dónde se conectan los limpiaparabrisas.

Los intermitentes y la conexión de las luces suelen estar a la izquierda del volante. Los intermitentes se conectan subiendo o bajando un accionamiento cilíndrico y las luces girando una corona que se sitúa en la punta de dicho accionamiento cilíndrico. También es posible colocar el accionamiento de las luces en un panel frontal a la izquierda y debajo de la posición del volante. Desde el que se controlan luces de posición, de cruce, de larga

distancia, antiniebla delantero y trasero, pero en ningún caso los intermitentes. Esto es así porque las luces se conectan y desconectan en contadas ocasiones durante la conducción, sin embargo, los intermitentes se están utilizando continuamente.

En el lado derecho se posicionan los limpiaparabrisas y su regulación en velocidad, tanto los delanteros como el trasero. Además tiene un accionamiento para echar agua y limpiar los cristales delantero o trasero. También en el accionamiento de la derecha se suele tener un botón para entrar y navegar por el ordenador de a bordo, desde el cual accedemos a **información útil del tipo consumo, kilómetros, velocidades... que se reflejará en la consola central.**

Se puede incluso llegar a colocar dos accionamientos en cada lado. Siendo cada uno de ellos encargado de una función diferenciada.

Todos estos accionamientos deben ser alcanzables sin despegar la espalda del asiento, de tal manera que con un movimiento de brazo o mano se pueda conectar casi todo. Excepto en el caso del panel frontal de las luces, que al tener que accionarlas en ocasiones muy puntuales, no sería necesario.

En el caso de los elementos de mayor uso, como pueden ser los intermitentes, el accionamiento debe estar lo suficientemente cerca del volante como para no soltar la mano de este.

La distancia del volante al accionamiento de intermitentes y limpiaparabrisas (izquierdo y derecho respectivamente) debe tomarse del dato antropométrico *longitud del dedo índice*.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud del dedo índice	61	64	72	81	85

Dimensiones en mm. de la longitud del dedo índice para los diferentes percentiles en una población conjunta.

Así pues, dichos accionamientos se situarán a uno 70 mm. detrás del volante.

## 9.2.2. PALANCA DE CAMBIO DE MARCHA.

### 9.2.2.1. POSICIÓN DE LA PALANCA DE CAMBIO DE MARCHA

La correcta posición para situar la palanca de cambio de marcha es dentro de la llamada área normal de trabajo horizontal. Así pues tomando la posición del codo durante la conducción como punto cero, la palanca se situará a una distancia máxima de 40 cm. Esta distancia debe poderse salvar con el movimiento del hombro y el brazo, pero sin despegar la espalda del respaldo del asiento.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Longitud codo-puño	275	292	337	376	393

Dimensiones en mm. de la longitud codo-puño para los diferentes percentiles en una población conjunta.

Con el asiento en la posición más retrasada, la palanca de cambio de marchas quedará en su punto más alejado, unos 45 cm. Para el asiento en la posición más adelantada, la palanca de cambio de marchas quedará en su punto más cercano, unos 20-25 cm.

En cuanto al plano vertical, la palanca de cambio de marchas debe situarse entre ligeramente por debajo del nivel del codo hasta de 10 a 12 cm. por encima del nivel del codo.

#### 9.2.2.2. DISEÑO DE LA PALANCA DE CAMBIO DE MARCHA

La palanca de cambio de marcha debe estar diseñada, proyectada y construida de tal manera que sea una prolongación de la mano del conductor.

Las dimensiones estarán adaptadas a la anchura y longitud de la mano (se debe tener en cuenta el uso de guantes), y la amplitud de movimientos necesaria estará ajustada a la amplitud máxima de rotación de la articulación del hombro, evitando tener que mover el cuerpo entero para cambiar la marcha del coche.

Las dimensiones consideradas fundamentales para su diseño deben ser la anchura de la mano en el metacarpo y la anchura de la mano incluyendo el pulgar cerrado, estableciendo tres tamaños de empuñadura, grande para los percentiles  $P_{50}$  a  $P_{95}$  de hombres, mediana, para los percentiles  $P_5$  a  $P_{50}$  de hombres y  $P_{50}$  a  $P_{95}$  de mujeres, y pequeña, para percentiles  $P_5$  a  $P_{50}$  de mujeres. Las diferentes empuñaduras irán destinadas a distintos segmentos de automóvil, aunque el más usual será el del medio.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES					
	M5	M50	M95	H5	H50	H95
Anchura de la palma de la mano (en metacarpianos)	70	78	86	80	90	99

Dimensiones en mm. de la anchura de la palma de la mano (en metacarpianos) para los diferentes percentiles en una población de mujeres y de hombres por separado.

El ancho de la empuñadura de palanca de cambios debe ser menor que la anchura de la palma de la mano (en metacarpianos), debido a que el agarre que se realiza al cambiar de marcha es parecido a una presa palmar esférica tetra o pentadigital, así pues el último



dedo, el meñique, contacta por la cara lateral externa con el objeto, constituyendo así un tope interno, reforzado por los dedos restantes. Este tope se opone a la presión del pulgar de modo que la empuñadura queda bloqueada distalmente por el *gancho* de los dedos, estableciendo un contacto palmar.

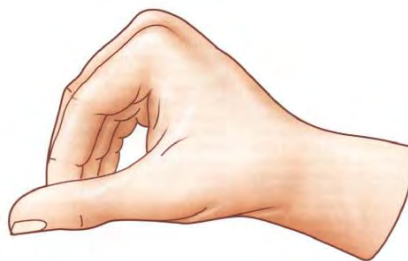
Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES					
	M5	M50	M95	H5	H50	H95
Anchura proximal del dedo índice.	16	18	21	18	21	23

Dimensiones en mm. de la anchura proximal del dedo índice para los diferentes percentiles en una población de mujeres y de hombres por separado.

Así pues, para hallar el ancho de la empuñadura y teniendo en cuenta la anchura de la palma de la mano y la anchura del dedo índice. La anchura de la empuñadura de tamaño medio de la palanca de cambios debe estar entre los 40 y los 50 mm.

En cuanto al diseño geométrico del pomo, debería coincidir con el interior que deja la mano al ponerse en posición de inmovilización temporal o de protección.



Posición de la mano de inmovilización temporal.

### 9.2.3. PEDALES.

#### 9.2.3.1. POSICIÓN DE LOS PEDALES Y SEPARACIÓN ENTRE ELLOS

Los pedales deben situarse en la zona de comodidad para el manejo con los pies (establecida en la UNE-EN ISO 6682) comprendida entre los 600 y los 900 mm de alcance frontal y entre los -250 y 250 mm de alcance lateral, medidos desde el SIP.

Como se ha dicho anteriormente la profundidad del puesto del conductor está entre 750 y 1000 mm. Con estas medidas quedan fijadas las posiciones de los pedales con respecto al asiento en profundidad. El ancho del asiento es de 500 mm. (700 mm. si contásemos los reposabrazos), y la anchura de la zona de los pies donde están situados los pedales será también de unos 500 mm. Los 100 mm. que quedan en el lado izquierdo, son para colocar un apoyo para el pie izquierdo, ya que en carretera no se usa demasiado y debe descansar en algún sitio.

De los tres pedales, dos son accionados con el pie derecho (freno y acelerador) y uno con el izquierdo (embrague). Además, el modo de actuación sobre cada uno de ellos es diferente:

- El acelerador se suele tener pulsado la mayor parte del tiempo. No se suele llevar al fondo. Debe presionarse con precisión y regularidad.
- El freno se suele accionar en momentos puntuales, aunque en ocasiones sea durante periodos más prolongados, como en los descensos. El modo de presión suele ser regular, como en el acelerador, aunque en ocasiones es necesaria una presión brusca.
- El embrague únicamente se presionará al cambiar de marcha, y debe llevarse hasta el final del recorrido, aunque no siempre, porque se suele *jugar* con la primera parte del recorrido durante el aparcamiento. La manera de apretar el embrague es mucho más brusca que el acelerador y el freno, la precisión es mucho menor.

Los pedales de acelerador y freno deben estar relativamente juntos, de tal manera que el pie derecho no se tenga que desplazar demasiado, sino únicamente pivotar en torno al talón para cambiar de un pedal a otro. Esto es muy importante, porque ahorra un tiempo precioso en caso de emergencia, siendo, posiblemente, la diferencia entre un accidente y un susto. Aunque la distancia tampoco puede ser muy pequeña, porque si no, se corre el riesgo de al intentar acelerar, pisar el pedal del freno sin querer y provocar una situación de peligro. Por esto mismo, sería conveniente que el pedal del freno estuviese algo más elevado que el del acelerador. Pues, aunque se invierta más tiempo en realizar una frenada de emergencia, salva de muchas situaciones de peligro si se pulsa el freno al estar acelerando.

Para obtener una separación aproximada entre pedal de acelerador y de freno, puede observarse la medida antropométrica de *anchura del pie*.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Anchura del pie	74	87	101	112	117

Dimensiones en mm. de la anchura del pie para los diferentes percentiles en una población de hombres.

De donde se puede obtener que la separación desde el centro del pedal del acelerador hasta la pared de la derecha del espacio para los pies debe ser de unos 50 mm. De la misma manera, la separación entre los centros de los pedales del acelerador y del freno debe estar en torno a los 120-130 mm.

El pedal del embrague se situará cerca de la zona de apoyo del pie izquierdo. Por lo

general el accionamiento de este pedal se realizará moviendo la pierna entera desplazándola desde la zona de descanso al pedal y vuelta. Durante la conducción por ciudad, dónde es muy usual el cambio constante de marcha, el pie izquierdo se mantiene frente al pedal de embrague para no tener que realizar tanto esfuerzo, siendo la articulación del tobillo la que más trabaje, aunque para llegar al fondo del recorrido del pedal suele ser necesario desplazar levemente la pierna.

El centro del pedal del embrague quedará a unos 100 mm. del apoyo.

#### 9.2.3.2. DISEÑO DE LOS PEDALES

El pedal del acelerador debe ser más largo que los otros dos, ya que es el que más tiempo va a permanecer pulsado. Si fuese corto, el apoyo para el pie podría resultar inestable y derivaría, a la larga, en cansancio físico. El diseño del pedal de aceleración debe desarrollarse para que el propio pedal pueda ser pisado por el conductor con soltura, mientras que el talón permanece en el suelo. Esto permite un alto grado de control, ya que es la articulación del tobillo la que modula la presión. Para que la presión sobre el pedal sea correcta, teniendo en cuenta que el talón estará apoyado en el suelo, sería conveniente que el pedal naciese en el suelo, no que estuviese *flotando*. De esta forma, aunque sea la punta del pie la que presiona el pedal para aumentar el control, es toda la planta la que está apoyada. En la siguiente imagen puede verse un ejemplo de este tipo de pedal.



Fotografía de unos pedales de automóvil diseñados por BMW para su gama M.

Como se puede observar en la imagen anterior, el pedal del acelerador suele ser algo más estrecho que los otros dos, debido a que en caso ir a pisar el freno y el embrague, el pie va a *buscarlos*, sin embargo, el pedal del acelerador tiene como referencia la pared derecha.

El diseño del pedal del freno y del pedal de embrague suelen ser simétricos, debido a que su uso es muy parecido pero se accionan con diferentes pies.

Los anchos de los pedales, sobretodo de freno y embrague, deberían ajustarse a cada

conductor, puesto que es muy sencillo cambiar el acoplamiento que se pisa para adaptarlo al conductor habitual de un vehículo. De esta manera lo mejor es diseñar varias gamas, que podrían ser grande para los percentiles  $P_{50}$  a  $P_{95}$  de hombres, mediana, para los percentiles  $P_5$  a  $P_{50}$  de hombres y  $P_{50}$  a  $P_{95}$  de mujeres, y pequeña, para percentiles  $P_5$  a  $P_{50}$  de mujeres.

El apoyo para el pie izquierdo sí debe estar diseñado para una anchura cercana a los 120 mm., pues debe pensarse en el percentil mayor de los hombres y sumar espacio para el calzado.

### 9.2.3.3. FUERZA DE ACCIONAMIENTO

Las fuerzas de actuación para los diferentes pedales no deben exceder de 250N para el embrague, 600N para el freno y 60N para el acelerador.

Si el sistema de frenado está equipado con un servofreno se podrá realizar una presión mayor sobre el circuito hidráulico, y por consiguiente, sobre los pistones de las pinzas con un mayor descanso del pie. Y además se consigue una mejor dosificación de la frenada.

El servofreno es el sistema por el cual la fuerza que hay que ejercer sobre el pedal, para presurizar el circuito a una misma presión, se reduce. Es decir, es un elemento que reduce el esfuerzo que necesita el conductor para presurizar el circuito pisando el pedal.

<b>Fuerza sobre el pedal (N)</b>	<b>Presión en el circuito con Servo (bar)</b>	<b>Presión en el circuito sin Servo (bar)</b>
0	0	0
100	30	13
200	65	24
300	104	34
400	118	44
500	130	53
600	140	63
700	150	75
800	160	86
900	170	100
1000	180	113

Comparativa esfuerzo sobre el pedal con servo y sin servo en el sistema de frenado.

### 9.2.4. OTROS MANDOS.

#### 9.2.4.1. INTERMITENTES Y LUCES DE LARGO ALCANCE.

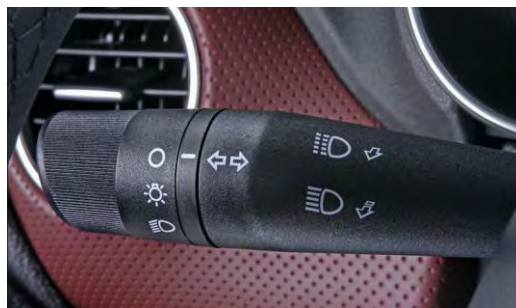
El accionamiento de los intermitentes, como ya se ha dicho con anterioridad, se sitúa en la parte izquierda y justo detrás del volante, de tal manera que puedan accionarse sin soltar las manos.

Geométricamente tienen forma de palanca cilíndrica o cuasi cilíndrica y se actúa sobre ellos como si de un *joystick* se tratara. Su movimiento se hace en dos direcciones y en cuatro sentidos. En cada uno de estos sentidos puede tener uno o varios desplazamientos. Lo normal es que para accionar el intermitente de la derecha, se suba la palanca en dirección vertical sentido hacia arriba, y para accionar el intermitente de la izquierda, se baje la palanca en dirección vertical sentido hacia abajo.

Este accionamiento tiene que poderse accionar con los dedos de la mano izquierda y a ser posible, únicamente con el dedo índice.

El mando no debe poder ser accionado involuntariamente. Así pues, todos los botones y distintas funciones que se colocan dentro de la palanca deben requerir un movimiento independiente. De esta manera no encenderemos las luces cuando queramos accionar el intermitente ni al revés.

Un ejemplo de palanca para accionar los intermitentes se puede ver en la siguiente imagen.



Fotografía de un accionamiento de intermitentes.

En este accionamiento pueden ir o no incorporadas las luces de posición, cruce y antiniebla a modo de corona, pero las que siempre van, por su urgencia de accionamiento son las luces de carretera o *largas*, debido a que en caso de encontrar un coche en el sentido contrario es necesario apagarlas, puesto de lo contrario provocarán deslumbramiento en el otro vehículo. Además existe el accionamiento para provocar destellos con las luces de carretera o de larga distancia, usando estas como aviso, como si del claxon se tratase, y deben poder ser accionadas sin soltar las manos del volante.

Así pues, el accionamiento de las luces de carretera se hará con el movimiento en dirección horizontal en cualquiera de los dos sentidos y el accionamiento de los destellos se hará siempre en dirección horizontal y hacia el lado del conductor, aunque dicho accionamiento no será fijo, sino que retornará solo a su posición inicial.

#### 9.2.4.2. LUCES

El dispositivo para encender y apagar las luces suelen tener dos posibles ubicaciones. Una de ellas es dentro de la palanca de accionamiento de los intermitentes, a modo de corona.

Y la otra es frente al conductor en la zona inferior izquierda detrás del volante, o incluso en la zona del reposabrazos izquierdo.

El problema de la primera situación es que si solo se colocan luces de posición y de cruce, el accionamiento es sencillo pero se debe colocar en otro lugar los botones para las luces antiniebla y si se coloca el encendido-apagado de todas las luces en la palanca, el accionamiento es demasiado complejo y el tener que conectar las antiniebla hacen que el conductor tenga que mirar para ver cómo se hace, distrayendo su atención de una carretera con mala visibilidad.

En la siguiente imagen se ve un ejemplo de la disposición de los mandos para el encendido y apagado de todas las luces en el accionamiento de los intermitentes.



Palanca de intermitentes con mandos para encendido y apagado de luces a modo de corona.

La segunda ubicación es más recomendable porque aunque sea necesario desplazar la espalda del respaldo del asiento, es algo que se hace en contadas ocasiones, y permite mantener los ojos en la carretera, puesto que el dispositivo es de uso más sencillo.

En la siguiente imagen puede verse un ejemplo de esta disposición.



Mandos para encendido y apagado de luces tras del volante.

La rueda que puede verse a la derecha de la imagen anterior sirve para ajustar la dirección de las luces y de esta manera evitar tanto la falta de visión como el deslumbramiento a otros vehículos. En algunos coches el ajuste de la altura de las luces se realiza automáticamente en función del peso, es decir que según la carga que tenga entre pasajeros y maletas y según la inclinación del vehículo regula la altura para mantener un horizonte fijo.

#### 9.2.4.3. LIMPIAPARABRISAS

El accionamiento del limpiaparabrisas es muy similar al de los intermitentes en funciones y diseño. En este caso, desde este dispositivo se accede a la limpieza de las lunas delantera y trasera y de los faros delanteros en la dirección horizontal y únicamente a la limpieza de la luna delantera para conducción con lluvia en la dirección vertical. En los accionamientos activados horizontalmente aparte de mover el limpiaparabrisas, se echa agua a las lunas.

Generalmente tirando de la maneta hacia el conductor se echa agua a la luna delantera y hacia el lado contrario a la trasera.

En la dirección vertical, la maneta se parte de una posición *cero* en la que no funciona el limpiaparabrisas. Al presionar hacia abajo, generalmente con un toque, se realiza un sólo barrido, mientras que una posición hacia arriba se suele activar el sensor automático del limpiaparabrisas, el cual limpiará una vez y parará durante un tiempo. Para esta posición se tiene un regulador situado en la palanca, de modo que se puedan dar barridos con más o menos intensidad moviéndolo a un lado u otro, es decir, variará el tiempo de espera entre una limpieza y la siguiente.

Si se desplaza otra posición hacia arriba la maneta se marca un barrido lento pero constante del limpiaparabrisas, sin paradas, que puede aumentar su velocidad hasta el máximo moviendo una última posición en vertical.

En la siguiente imagen puede verse un ejemplo de una maneta de limpiaparabrisas.



Palanca de limpiaparabrisas.

El accionamiento debe poder accionarse tanto hacia abajo como hacia arriba con el dedo índice y sin soltar la mano derecha del volante. Cuanto más sencillo sea, mejor será su diseño.

#### 9.2.4.4. APERTURA Y CIERRE DE VENTANAS, AJUSTE DE RETROVISORES Y CIERRE CENTRALIZADO

Los accionamientos que controlan el abrir y cerrar de las ventanas suelen situarse en la puerta, aunque no es raro encontrarlos en el centro, entre los asientos, cerca de la palanca de cambio de marcha.



Su situación ideal es al final de la zona destinada a que el brazo izquierdo del conductor repose, de tal manera que puedan ser accionados con un leve movimiento del brazo hacia delante. Si su situación es por detrás de la posición de reposo del brazo, costará accionar los botones.

El conductor suele disponer de cuatro accionamientos para abrir y cerrar las ventanas y uno más para bloquear las ventanas traseras.



Accionamientos ventanillas.

Los mandos que abren y cierran las ventanas deben dar la posibilidad de poder ser accionados en dos sentidos, al igual que el accionamiento manual de manivela puede moverse en sentido horario y antihorario para bajar y subir la ventanilla. Además es muy útil que tengan dos posiciones de apriete, la primera para bajar la ventanilla hasta un punto, y la segunda para bajarla del todo con solo pulsar a fondo.

La dimensión fundamental a considerar para el diseño del ancho del accionamiento debe ser, según datos antropométricos, la *anchura distal del dedo índice*. Es decir, la anchura de la última falange del dedo índice. Se diseñará con respecto al P<sub>95</sub> del grupo de los hombres.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Anchura distal del dedo índice	15	16	18	21	22

Dimensiones en mm. de la anchura distal del dedo índice para los diferentes percentiles en una población de hombres.

De esta manera el ancho del accionamiento se diseñara de unos 20 mm., entrando la yema del dedo índice para poder accionarlo sin problemas.

Como se dijo anteriormente en este capítulo; la longitud del reposabrazos izquierdo debe ser de entre 250 y 400 mm. Así pues, teniendo un reposabrazos adherido a la puerta, el panel con los mandos de ventanas, retrovisores y cierre de puertas ocupará los últimos



100-150 mm. Si el reposabrazos es muy corto, se debe buscar otra ubicación para estos accionamientos.

El accionamiento de bloqueo de las ventanillas traseras es un botón y suele situarse entre los mandos de elevación delanteros y traseros.

El ajuste electrónico de los retrovisores podría resolverse perfectamente con un joystick. Además, dentro del joystick deben incorporarse varias posiciones para poder regular los dos retrovisores, e incluso realizar más funciones como su plegado o el accionamiento de las resistencias de sus cristales térmicos.

Otros mandos como el de la apertura y cierre del coche o el de apertura de la tapa del combustible suelen ser botones en los que influye menos su ubicación, ya que no se deben accionar durante la marcha del coche.

#### 9.2.4.5. ACCIONAMIENTOS PARA AJUSTE DE ASIENTO

Los accionamientos para el ajuste del asiento suelen ser de difícil acceso, aunque como estos ajustes deben hacerse con el vehículo parado, puesto que hacerlo en movimiento puede ser peligroso, no debe haber problema.

El ajuste puede hacerse de manera electrónica, siendo el accionamiento un botón para cada sentido y dirección. En este caso los botones pueden colocarse en el lateral izquierdo inferior del asiento, de tal manera que quedan pegando a la puerta.



Regulaciones electrónicas de un asiento de automóvil.

El ajuste más común es mecánico, ya que no es algo que se tenga que hacer habitualmente y no se necesita gran precisión. Siempre sirve un rango de los establecidos en las posiciones. De esta manera:

- El accionamiento para el movimiento longitudinal del asiento suele ser una palanca. Con esta palanca se desenclava la posición en la que está el asiento, y después, ejerciendo presión en la dirección y en el sentido requerido, el asiento se desplaza hacia delante o hacia atrás.
- Para el movimiento vertical del asiento puede usarse una palanca o una rueda o

incluso una manivela. Debe ser un accionamiento con dos posibilidades de movimiento para subir y bajar. Este accionamiento no necesita presión externa.

- Para regular el ángulo del respaldo asiento, así como otros ángulos de componentes que necesiten regulación, se suele utilizar una rueda o corona colocada en el eje de giro.



Regulaciones mecánicas de un asiento de automóvil.

### 9.3. UBICACIÓN Y DISEÑO DE ELEMENTOS DE INFORMACIÓN.

La disposición y el diseño de los elementos de información puede ser muy variada, y además las diferentes soluciones no tienen por qué ser unas peores que otras. Lo más importante es pensar en el fin durante el diseño, de tal manera que para el conductor que entra por primera vez en el vehículo se encuentre todo donde espera. Así podrá utilizar cada componente de la manera más rápida y eficaz posible, sin dar posibilidad a fallos por interpretaciones, por malas lecturas o a faltas de precisión.

#### 9.3.1. CUENTARREVOLUCIONES.

El DIV que se encarga de transmitirnos las vueltas a las que gira el motor es muy importante, y por tanto debe poder verse sin bajar la cabeza, únicamente bajando los ojos levemente de la carretera.

La ubicación lógica para el cuentarrevoluciones es en el panel frontal de información, justo por detrás del volante, de tal manera que pueda visualizarse a través de este. Algunos vehículos lo colocan en el centro, obligando al conductor a girar el cuello hacia la izquierda.

El diseño en este caso es muy importante, porque no solo debe aportar una información instantánea, sino también la evolución. Es decir, cómo acelera el coche. Lo mejor es prescindir de diales digitales y optar por los analógicos. El porqué de esta decisión puede resumirse en los siguientes puntos:

- No es necesario obtener una lectura exacta. No importa si el coche va a 2950 rpm. o a 3000 rpm., la diferencia es mínima.
- Los valores suelen cambiar rápidamente y en ocasiones la información necesaria es la evolución de los valores.
- Es posible diferenciar, dentro del mismo dial, las zonas correctas de funcionamiento de las zonas peligrosas. Se realizará colocando el color rojo en la parte de los dígitos de la zona peligrosa.



Ejemplos de cuentarrevoluciones analógico y digital.

Una vez elegido el DIV analógico, se debe tener en cuenta las siguientes directrices para su diseño:

- Magnitud de las unidades de la escala: Las divisiones serán de 100 en 100, aunque si el valor máximo es muy alto puede irse a divisiones de 200 en 200. No es necesario tener una información más precisa.
- Marcas de la escala: Se realizarán o tres marcas diferenciadas; 1000, que llevarán los dígitos, 500 y 100 o dos marcas diferenciadas; 1000, que llevarán los dígitos y 200. La alineación de las marcas de escala se hará en el exterior e irán siendo de más a menos largas hacia el interior.
- Valores y ubicación de los números de escala: La aguja no debe tapar el valor que está indicando. Así que lo mejor será colocar los dígitos por el exterior y que la aguja llegue hasta ellos a través de las marcas o divisiones. Como las rpm son muy elevadas y para ahorrarse el colocar dígitos con tres ceros, se colocan los valores divididos entre 1000 y una indicación en el dial.



Ejemplo de DIV analógico con los dígitos por el exterior.

- Diseño, colocación y separación de la aguja: La aguja debe estar lo más pegada al fondo posible, para evitar distintas lecturas desde distintos puntos de vista. Además, la punta de la aguja debe tener unos 20°, y que contacte pero no se superponga con el extremo superior de las marcas menores.
- Es importante diferenciar la zona de trabajo normal del motor con la zona de peligro. Para ello se pintará el fondo de rojo en la zona de las marcas de escala de la zona peligrosa.
- La lectura se hará siempre en sentido horario, siendo el cero la parte inferior izquierda.

En caso de poder usar una circunferencia completa para mostrar la información, no se usará la parte inferior para colocar información relativa a las rpm, se usará como máximo la parte superior comprendida entre los ángulos 225 y 320. El resto servirá para otro tipo de información, por lo general indicadores simbólicos.

En ocasiones, por problemas de espacio no es posible colocar la circunferencia entera, y se coloca tan solo una parte. Esto no es problema siempre y cuando la legibilidad sea correcta y no dé lugar a malas interpretaciones. De hecho es lo más común en representaciones de rpm en los vehículos. En este caso la situación de los valores puede ir desde el ángulo 225 hasta el 60 aproximadamente. El resto de la circunferencia se usará para dar más información, siempre y cuando esté disponible.



Ejemplo de DIV analógico en el que no se usa la circunferencia completa.

Lo normal es que se coloque el *display* de las rpm. a la izquierda del velocímetro, quedando centrado el velocímetro con el eje del volante.

### 9.3.2. VELOCÍMETRO.

El velocímetro tiene una función parecida al del cuentarrevoluciones, así pues su diseño será similar.

En el caso del velocímetro, la circunferencia suele estar completa y el rango de velocidades va desde, aproximadamente, el ángulo 225 hasta el 320 (parte superior). La parte inferior suele usarse para colocar el cuentakilómetros, el nivel de gasolina, la temperatura del motor u otro tipo de información simbólica.

Directrices para diseño del velocímetro:

- Magnitud de las unidades de la escala: Las subdivisiones menores serán de 5 en 5 km/h. No es necesaria una mayor precisión.
- Marcas de la escala: Se realizarán dos marcas diferenciadas, las de 10 en 10 y las de 5 en 5. Los dígitos se colocarán de 20 en 20, empezando en 0. La alineación de las marcas de escala se hará en el exterior e irán siendo de más a menos largas hacia el interior.
- Valores y ubicación de los números de escala: La aguja no debe tapar el valor que está indicando. Así que lo mejor será colocar los dígitos por el exterior y que la aguja llegue hasta ellos a través de las marcas o divisiones.
- Diseño, colocación y separación de la aguja: La aguja debe estar lo más pegada al fondo posible, para evitar distintas lecturas desde distintos puntos de vista. Además, la punta de la aguja debe tener unos 20°, y que contacte pero no se superponga con el extremo superior de las marcas menores.

- Pueden hacerse marcas en el dial pintando las marcas o divisiones de otro color, por ejemplo, para indicar un cambio de marcha en circunstancias normales.
- La lectura se hará siempre en sentido horario, siendo el cero la parte inferior izquierda.

La ubicación del velocímetro suele ser centrada con respecto al eje del volante, y a la derecha del cuentarrevoluciones.

### 9.3.3. ORDENADOR DE ABORDO.

La pantalla de los ordenadores de abordo, por lo general, suelen ocupar demasiado espacio, siendo información que no es imprescindible ni que sea necesario tener delante para la conducción.

Está bien tener acceso a información tal como consumo medio, consumo instantáneo, **velocidades medias, kilómetros hasta repostaje...** pero no debe ocupar una parte importante del panel frontal. Lo mejor es que sea un *display* pequeño con diferentes pantallas y que en cada una se muestre una información.



Ejemplo de pantalla de ordenador de abordo.

La pantalla del ordenador de abordo de la imagen anterior no solo ocupa mucho y está ubicada en la mejor posición, sino que además muestra información no útil para la conducción. Esa información es mejor tenerla oculta y acceder a ella cuando se requiera.

### 9.3.4. RELOJ / TERMÓMETRO.

Para dar información de la hora y de la temperatura exterior debería bastar con un pequeño *display* en una zona que requiera movimiento de la cabeza, puesto que no es necesario tenerlo en la *zona de uso frecuente*.

Lo lógico sería colocar un display digital, ya que da información más rápida y permite dar las dos informaciones en un panel más pequeño. De hecho, se puede colocar un botón para pasar de una información a otra, teniendo en modo principal la hora.

Es mejor no colocar esta información en el ordenador de abordo, para que pueda tener acceso a ella el resto de pasajeros, sobre todo que se pueda tener una buena visión del



reloj. De esta manera es posible, aunque no probable, que se reduzca el número de veces que se pregunta *¿cuánto queda?* en los viajes largos.

### 9.3.5. INDICADORES DE NIVEL

Aparte del velocímetro y del cuentarrevoluciones, hay otros dos indicadores que deberían usar DIV analógico, como son el nivel de combustible y la temperatura del motor.

El nivel de combustible puede ponerse también en digital ya que no da información de la evolución, pero es mejor en analógico para poder, con un golpe de vista saber si aún queda suficiente gasolina o no, sin tener que detenerse a mirar los litros restantes o los kilómetros que faltan para repostar.

Este tipo de DIV analógico suele ocupar o un espacio vertical con una barra en lugar de una aguja o un cuarto de circunferencia y una aguja para indicar.

En el caso del nivel de combustible el depósito se vacía en sentido anti horario o de arriba abajo. Y para la temperatura del motor, esta sube en sentido horario.



Indicadores analógicos de nivel de combustible.

En el DIV de la temperatura del motor se debe colocar una zona de peligro, al igual que en el cuentarrevoluciones.

Estos dos indicadores tienen asociados dos indicadores pictóricos que se iluminan en caso de llegar a situaciones críticas. En el caso de la temperatura del motor estaría bien que además emitiese un sonido.



Indicadores analógicos de temperatura del motor.

La ubicación de estos dos DIVs dentro del panel frontal bien puede ser la zona de la derecha del velocímetro, o incluso las esquinas que dejan libres las circunferencias de cuentarrevoluciones y velocímetro. Hay más posibilidades, como colocarlos en la parte

libre de las circunferencias de cuentarrevoluciones y velocímetro, es decir en las partes inferiores a una escala menor.

### 9.3.6. INDICADORES SIMBÓLICOS

El panel frontal está lleno de indicadores simbólicos, estos suelen permanecer apagados hasta que son activados o hasta que saltan por una alerta.

Los símbolos están definidos ya y deben mantenerse para que no nos encontremos con malas interpretaciones u otros equívocos.

La ubicación es un tanto dispersa, se pueden colocar dentro de los DIVs analógicos de cuentarrevoluciones y velocímetro o alrededor de estos, o en un panel todos juntos.

Lo que es importante es que aquellos símbolos que requieran de una atención inmediata tengan un tamaño mayor un color rojo fuerte e incluso una señal acústica. Además deben estar más centrados para que no pasen desapercibidos



Panel de control con indicadores simbólicos iluminados.

### 9.3.7. CUENTAKILÓMETROS

En el panel frontal del vehículo nunca falta el cuentakilómetros, ya sea en digital o en analógico. Suele colocarse dentro del DIV que mide la velocidad en la parte inferior y en el centro.

Su presentación normal es en forma de contador mecánico-digital.



Contador de kilómetros mecánico.



## 9.4. UBICACIÓN Y DISEÑO DE OTROS ELEMENTOS.

### 9.4.1. WARNING

El aviso visual de un peligro evita multitud de accidentes. De esta manera que la ubicación del botón de *warning* tenga una importancia vital en muchos casos. Con el botón de *warning* o señal de emergencia, se encienden todos los intermitentes del coche a la vez advirtiendo de un peligro a los demás vehículos.

No se puede perder tiempo en buscar el botón con el triángulo rojo, este debe estar cerca del volante, en el lado derecho y a su misma altura, de tal manera que la mano derecha del conductor no tarde en presionarlo. Además debe estar visible sin ser necesario el giro del cuello.

El botón debe ser grande y estar separado del resto de los accionamientos, ya que no siempre se acciona con los dedos, si no que en ocasiones se emplea la palma de la mano.

Además, sería bueno normalizar la situación de este accionamiento.



Accionamiento de emergencia en lugar correcto y bien aislado.

### 9.4.2. CINTURON DE SEGURIDAD.

Un cinturón de seguridad es un arnés diseñado para sujetar a un ocupante de un vehículo si ocurre una colisión y mantenerlo en su asiento. Comenzaron a utilizarse en aeronaves en la década de 1930 y, tras años de polémica, su uso en automóviles es actualmente obligatorio en muchos países. El cinturón de seguridad está considerado como el sistema de seguridad pasiva más efectivo jamás inventado.

El objetivo de los cinturones de seguridad es minimizar las heridas en una colisión, impidiendo que el pasajero se golpee con los elementos duros del interior o contra las personas en la fila de asientos anterior, y que sea arrojado fuera del vehículo.

El sistema de sujeción más usado en los cinturones de seguridad es el llamado *de tres*

*puntos de anclaje*. Es una aportación de Volvo, cuya marca decidió montar de serie en todos sus coches este efectivo sistema de retención de las personas en 1959. Desde esa fecha, no se ha inventado ningún otro mecanismo que pueda igualarlo en efectividad.

Actualmente los cinturones de seguridad poseen tensores que aseguran el cuerpo en el momento del impacto mediante un resorte o un disparo (*tensor pirotécnico*). El cinturón se debe colocar lo más pegado posible al cuerpo, plano y sin nudos o dobleces.

El cinturón que cruza el pecho debe quedar entre la articulación del hombro y la clavícula. En el enganche superior es necesaria una regulación en altura, ya que si el enganche superior está demasiado elevado la cinta rozará en el cuello del conductor, y si está demasiado bajo tenderá a salirse por el hombro.

Para saber qué regulación del enganche superior es necesaria en altura, tomamos la dimensión de *altura de hombros sentado* de los datos antropométricos de la población conjunta. El diseño se realizará con respecto a la diferencia entre el P<sub>5</sub> y el P<sub>95</sub>.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Altura de hombros, sentado	500	524	579	635	660

Dimensiones en mm. de la altura de hombros, sentado para los diferentes percentiles en una población conjunta.

De esta manera queda que la regulación en altura del anclaje superior del cinturón de seguridad debe tener un rango de unos 11 cm.

El cinturón de las caderas debe estar situado por delante de las crestas ilíacas, los huesos que sobresalen en las caderas. Esto es para que sujete al cuerpo contra un hueso duro y no contra el abdomen blando. En el caso de las embarazadas, se vende un accesorio para asegurarse que el cinturón queda debajo del abdomen. Se engancha entre las piernas a la banda de la cintura y por debajo del asiento.



Anclaje superior del cinturón de seguridad, en el que se observa la posible regulación en altura.

### 9.4.3. FRENO DE ESTACIONAMIENTO.

El freno de estacionamiento<sup>84</sup> es un sistema que inmoviliza el vehículo cuando está parado, ya sea manual o automáticamente. En la inmensa mayoría de los vehículos ligeros se acciona con la mano y mediante un cable acciona las ruedas traseras.

El freno de estacionamiento puede ser una palanca, un botón, un pedal o incluso no existir y ser accionado automáticamente. Una opción que dan los accionamientos de pedal y palanca y que los otros no, es que permiten ajustar la fuerza del accionamiento. El botón, en cambio, tiene una sola posición y el accionamiento automático se regula solo.

Un problema que tienen los frenos de estacionamiento automático es que se acciona cada vez que el coche para, como en un semáforo, provocando un desgaste prematuro de las pastillas de freno, causado por la fricción al iniciar la marcha con el freno de estacionamiento puesto. Por el contrario, tienen la ventaja de dar asistencia de arranque en cuesta.

Entre pedal y palanca, la mejor opción es la de la palanca, ya que el pedal necesita de otro accionamiento que lo libere, ya que solo es accionado en una dirección.

Al contrario de lo que pasaba con la palanca de cambio de marcha, el freno de estacionamiento no hace falta que se ubique dentro del área normal de trabajo horizontal. Debe estar accesible desde el puesto del conductor, pero no hay inconveniente en tener que despegar la espalda del asiento para tener que accionar el freno de estacionamiento, ya que este solo se usará al iniciar y al detener la marcha.

La palanca del freno de estacionamiento suele estar junto al asiento del conductor, en la parte inferior derecha, normalmente en el eje de la palanca de cambio de marcha pero más retrasado. Cuando el freno no esté activado, la palanca debe quedar por debajo de la línea del asiento, para que no estorbe en los movimientos necesarios para el cambio de marcha.

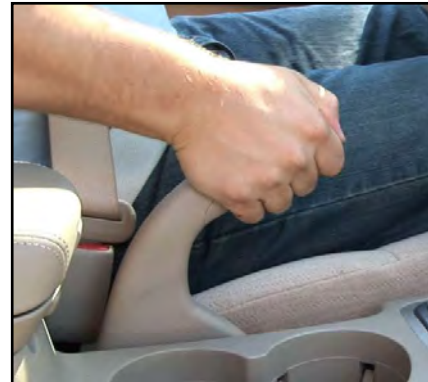


Ubicación de palanca de freno de estacionamiento.

---

<sup>84</sup> Freno de estacionamiento, comúnmente llamado freno de mano.

Para el diseño de la palanca se debe observar que el tipo de prensión que se realiza es la prensión palmar digitopalmar, en la cual se opone la palma de la mano a los cuatro últimos dedos. La palanca se coge entre los dedos flexionados y la palma de la mano, el pulgar no participa, ya que tendrá que apretar un botón situado en la punta de la palanca que libera el freno de estacionamiento.



Presa palmar digitopalmar.

La prensión digitopalmar suele utilizarse con objetos de diámetro de entre 3 y 4 cm., debido a que cuanto mayor es el diámetro del objeto, menos firmeza posee la presa.

La longitud de la palanca será al menos la del  $P_{95}$  de la *anchura de la palma de la mano (en metacarpianos)*, de la población de hombres.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Anchura de la palma de la mano (en metacarpianos)	75	80	90	99	103

Dimensiones en mm. de la anchura de la palma de la mano (en metacarpianos) para los diferentes percentiles en una población de hombres.

Así pues, la longitud de la palanca de freno de estacionamiento tendrá una longitud mínima de 10 cm.

La geometría del cilindro debe tener forma anatómica para que la presa se realice de la mejor manera posible.

#### 9.4.4. PALANCA DE APERTURA DE PUERTAS.

Para poder abrir la puerta desde el interior, se tiene un tirador situado en la misma puerta. Este tirador debe situarse por delante del cuerpo del conductor, sin llegar a la altura del volante. Debe poder usarse tanto con la mano derecha como con la izquierda.

El hueco que se deja para poder introducir la mano debe corresponderse, al menos, con la anchura de dos dedos de la mano, índice y corazón. Para ello la dimensión a considerar

debe ser, según datos antropométricos, la *anchura distal del dedo índice*. Se diseñará con respecto a dos veces el  $P_{95}$  de la anchura de la última falange del dedo índice del grupo de los hombres.

Según datos antropométricos de la población laboral española:

DESIGNACIÓN	PERCENTILES				
	1	5	50	95	99
Anchura distal del dedo índice	15	16	18	21	22

Dimensiones en mm. de la anchura distal del dedo índice para los diferentes percentiles en una población de hombres.

De esta manera el ancho del hueco para accionar el tirador será de unos 45-50 mm.

La profundidad del hueco debe ser suficiente para que entre la primera falange de los dedos.

Además del tirador para abrir la puerta, es necesario un tirador fijo para poder cerrar la puerta. La ubicación será similar al tirador para abrir y el diseño se realizará para poder realizar una prensión palmar digitopalmar como la usada para la palanca del freno de estacionamiento. En este caso se diseñara para la mano izquierda.

Hay que tener en cuenta que si el tirador para cerrar la puerta se sitúa excesivamente atrás, cuando esté la puerta abierta y el conductor esté sentado en el asiento, tendrá dificultades para llegar a cerrar la puerta.



Ejemplo de diseño de tirador de apertura y cierre de puerta.

#### 9.4.5. AIRE ACONDICIONADO/CLIMATIZADOR.

Los accionamientos necesarios para la puesta en marcha, el paro y la regulación del aire acondicionado o climatizador deben estar posicionados dentro del *área normal*, de tal manera que puedan manejarse dichos mandos con un solo movimiento del antebrazo. Para ello, la distancia entre el eje del cuerpo del conductor y los mandos debe ser menor

de 40 cm. Además, estos accionamientos deben colocarse en una zona visible sin necesidad de girar la cabeza, de tal manera que con un movimiento de los ojos se pueda visualizar todo el panel de control.

El climatizador o aire acondicionado debe tener los siguientes controles:

- Regulador de potencia: Lo más intuitivo y fácilmente diferenciable es una rueda o barra. Utilizándose además como encendido y apagado valiéndose de la posición *cero*. La rueda no debe llegar a dar la vuelta entera, sino que va desde los 225° hasta los 320°. La regulación con la barra se hace únicamente llevando la maneta de izquierda a derecha siendo la izquierda apagado y la derecha la potencia máxima.



Accionamiento de barra para regulación.

- Regulador de temperatura: Al igual que con la regulación de la potencia, lo mejor es usar una rueda o barra. En caso de querer precisión, como en el climatizador, la rueda deja de tener los topes del regulador de potencia, dándole la posibilidad de dar varias vueltas y se le añade un display con la información de la temperatura.
- Regulador de salidas de aire: Una rueda con las imágenes bien claras o botones para cada posición son las mejores posibilidades. Es importante resaltar, ya sea con colores o con un mayor tamaño, la opción de eliminación del vaho, ya que puede ser peligroso durante la marcha ponerse a buscar cómo desempañar el parabrisas.
- Botones de selección: En el panel de control del climatizador o aire acondicionado se debe colocar, también, diferentes botones con los que seleccionaremos varias opciones, como son: Uso o no de aire refrigerado y uso de aire del exterior o del interior del vehículo.



Panel de control de un aire acondicionado de un vehículo.

La utilización de muchos botones y displays que aporten una gran cantidad de información, puede resultar peligroso, ya que su manejo requiere una mayor atención.



#### 9.4.6. SALIDAS DE AIRE.

Las salidas de aire de los vehículos tienen dos principales fines. El primero, aclimatar el vehículo y al conductor, para que la conducción sea lo más cómoda posible, de tal manera que se pueda dirigir el aire directamente a la cara del conductor, a los pies o crear un ambiente general. El segundo fin, es el de desempañar los cristales del vehículo, para ello, algunas salidas deben apuntar directamente al parabrisas desde el salpicadero.

Es importante que exista la opción de desempañar automáticamente, de tal manera que no haya que estar moviendo varios controles, sino que presionando un botón salga aire a la máxima potencia y desde el salpicadero direccionado al parabrisas.



Ejemplo de flujo de aire de un vehículo.

Las salidas de aire frontales deben poder direccionarse y abrirse y cerrarse, de tal manera que se enfoque a gusto del conductor. El direccionamiento puede realizarse desplazando una pestaña fija en el centro de la salida de aire, arriba, abajo, a izquierda y a derecha. Para cerrar o abrir una salida, generalmente se coloca una rueda, aunque también puede cerrarse directamente la salida moviendo las láminas.



Salida frontal de aire en un coche.

#### 9.4.7. RADIO / CD.

La ubicación normal de la radio/cd es la parte central del salpicadero, de tal manera que tanto conductor como copiloto puedan tener acceso a ella.

Al igual que ocurre con el panel de control del climatizador o aire acondicionado, los accionamientos de la radio/cd deben ser intuitivos y manejables. No se debe perder tiempo buscando botones u opciones. Para ello lo mejor son los interruptores giratorios o *joystick*. Un panel de radio/cd con muchos botones requiere mucha más atención para ser manejado, acentuándose más por la cercanía de los botones y la precisión requerida.

Los problemas derivados de la búsqueda de emisoras en la radio o manejo del reproductor de música se han solucionado enormemente con la incorporación de mandos en el volante. No siendo necesario quitar los ojos de la carretera para subir el volumen u otras opciones de uso más común.



Ejemplo de radio/cd de uso complicado.

Lo comentado para la radio/cd es aplicable también al GPS, con el inconveniente de la mayor atención que requiere el uso del GPS, estando prohibido que el conductor lo manipule en marcha.

#### 9.4.8. CENICERO / MECHERO.

Fumar conduciendo no está prohibido, pero está claro que genera una distracción, tanto a la hora de buscar el cigarro y encenderlo, como a la hora de fumar y apagarlo. Estas distracciones hay que minimizarlas, y para ello, lo mejor es ubicar el cenicero en un lugar visible y alcanzable, de tal manera que el cenicero se encuentre lo suficientemente cerca como para que el conductor pueda echar la ceniza sin despegar la espalda del asiento. Además, si está muy bajo el conductor tenderá a buscarlo con la mirada, mientras que si se encuentra a la altura de las manos en el volante, se podrá fumar con mayor tranquilidad.

El mechero, o la carga de 12V, tiene que estar en un lugar cercano al conductor, ya que en ocasiones se enchufa el GPS y este se deja pegado con una ventosa al parabrisas, teniendo que alcanzar y no estorbar el cable. No hace falta que se encuentre en una zona visible desde el puesto del conductor, incluso puede estar dentro de un compartimento, aunque lo lógico es que se encuentre cerca del cenicero.



#### 9.4.9. PUNTOS DE LUZ.

La mayoría de automóviles tienen al menos una *luz de cortesía*, localizada en el techo en la parte delantera central, aparte de otras posibles como la que suele estar en el techo junto a la cabeza de conductor y pasajeros. Estas luces están destinadas a proporcionar una iluminación que ayude a abrocharse el cinturón de seguridad, a entrar o salir del coche, **a leer un mapa...** A veces tienen un interruptor que permite programar cuando encender la luz, al abrir una puerta, **a discreción, nunca...**

Es posible las luces de la parte central del techo sean direccionales, de tal manera que permitan la lectura de mapas, dirigidas hacia posiciones específicas de un pasajero, sin que exista una posible distracción por deslumbramiento del conductor.

Las fuentes de iluminación tipo LED están empezando a expandirse, debido a que la iluminación en el interior del automóvil necesita localizaciones precisas.

Durante la conducción no es necesario hacer uso de las luces, así pues, no es necesario que los botones se encuentren demasiado cerca del conductor, ni que estos tengan una utilización sencilla que no dé lugar a errores.

Lo que sí está bien es tener una iluminación general del habitáculo al entrar y salir del coche, de tal manera que podamos realizar las acciones previas y posteriores a la conducción cómoda y rápidamente.



Punto de luz de un vehículo.

## 9.5. ESPACIOS PARA ALMACENAJE.

### 9.5.1. GUANTERA.

La guantera es un compartimento cerrado en el que se guardan objetos de primera necesidad, como la documentación, pero que no se usan mientras se conduce. Por ello, se coloca en el lado del copiloto, bajo el salpicadero.

Resulta cómodo que la guantera esté compartimentada, de tal manera que haya al menos un lugar destinado a la documentación y a un lápiz o bolígrafo.

La guantera debe tener luz interior y debe estar diseñada de tal manera que no se caiga el contenido al abrirla.



Guantera de un vehículo.

### 9.5.2. ESPACIO PARA GAFAS DE SOL.

No solo resulta útil tener a mano unas gafas de sol, sino que en muchas ocasiones son imprescindibles para reducir deslumbramientos mientras se conduce, y así evitar accidentes. Al conducir hacia el este al amanecer o hacia el oeste al atardecer el conductor se ve cegado por el sol, si además se está circulando por ciudad, el peligro aumenta, ya que no se llega a apreciar si un peatón quiere cruzar o hay algo que interrumpe el tráfico.

Un espacio muy útil para colocar las gafas de sol es la parte baja de la puerta o la zona del techo que queda justo encima de la puerta. Debe ser fácilmente localizable sin mirar y de fácil apertura, evitando separar los ojos de la carretera.



Espacio para dejar las gafas de sol.

Este espacio debe poder alojar cualquier tipo de gafas. Independientemente del tamaño y la forma.

Otra buena opción es la que se ha comentado anteriormente en la parte de los Parasoles. Incorporar un cristal oscurecido a modo de gafa de sol en el parasol, de tal manera, que si no tenemos las gafas a mano, siempre se pueda disponer de un dispositivo que reduzca los deslumbramientos.



Visera oscurecida incorporada al parasol.

### 9.5.3. ESPACIO PARA BEBIDA.

Muchos son los coches que ya incorporan alojamientos para poder dejar una bebida para el conductor. Se puede pensar que con esto lo que se consigue es que el conductor se despiste y no preste atención a la carretera. Teniendo en cuenta que el conductor debe hacer descansos cada 2 horas, no hay necesidad de ir bebiendo o comiendo en el coche. Pero la realidad es que los conductores beben y comen en los coches, y muchos mientras conducen, así pues se debe diseñar un portaalimentos que minimice o elimine los despistes.



Soporte para bebidas.

Colocar una bandeja para darse un festín como en los aviones es demasiado, pero un soporte para una botella de agua o una lata de refresco, viene muy bien. Debe situarse al

alcance de la mano, sin tener que despegar la espalda del respaldo del asiento, y a ser posible dentro del campo de visión indirecto para no tener que girar la cabeza, si no, habrá que tantear con la mano.

Es importante que el soporte sea estable, tanto para latas como para botellas de agua de medio litro, de tal manera que un giro o un frenazo no haga que la bebida caiga salpicándolo todo.

#### 9.5.4. ESPACIO PARA DOCUMENTACIÓN.

La documentación del vehículo debe ir siempre en el coche. Para ello lo más lógico es que exista un espacio destinado o poder guardarla y preservarla.

Los siguientes documentos deben llevarse en el vehículo, unos porque es obligatorio y otros porque es altamente recomendable, ya que evitan problemas e incluso papeleos posteriores:

- Permiso de conducción
- Permiso de circulación del vehículo o autorización provisional expedida por la Jefatura de Tráfico.
- Tarjeta de características técnicas del vehículo.
- Informe favorable de la Inspección Técnica del Vehículo (ITV) y pegatina. Solo en los casos en que, por antigüedad del vehículo, deba pasar la ITV.
- Documentación acreditativa de la vigencia del seguro: Póliza del seguro obligatorio y recibo del pago.
- Recibo del pago del impuesto municipal de circulación.

También viene muy bien llevar el libro de mantenimiento del coche, por si en viaje se funde un fusible o alguna avería similar.

Toda esta documentación debería ir dentro de una carpeta y esta carpeta dentro de la guantera. Al ser este un espacio cerrado, será donde mejor se conserve. Además, esta documentación será necesaria en caso de que un agente nos la solicite, para ello, el vehículo estará parado. De tal manera que no es necesario que la documentación esté accesible para el conductor desde su asiento.



Espacio para la carpeta con la documentación dentro de la guantera.

## 9.6. CONDICIONES AMBIENTALES.

### 9.6.1. ILUMINACIÓN.

El sistema de iluminación de un vehículo consiste en el grupo de dispositivos lumínicos montados o instalados en el frontal, laterales y parte trasera. Su propósito es proveer de iluminación al conductor para poder hacer funcionar el automóvil con seguridad en condiciones de baja visibilidad, aumentando la claridad del vehículo y ofreciendo a los demás usuarios de la vía información sobre la presencia, posición, tamaño o dirección del vehículo y sobre las intenciones del conductor en cuanto a dirección y velocidad.

La iluminación en la parte delantera se consigue mediante faros de corto y largo alcance, además de faros antiniebla.

La iluminación de corto alcance, o luz de cruce, confiere una distribución del haz luminoso lateral y frontal, pero sin que pueda deslumbrar a otros usuarios de la carretera. Este haz está especificado para su uso cuando existan otros vehículos en la carretera. Las normas ECE, de carácter internacional, sobre los faros delanteros especifican un haz con un corte afilado y asimétrico para prevenir que llegue una cantidad excesiva de luz a la vista de otros conductores que puedan ir precediendo o en dirección contraria al vehículo.

La iluminación de largo alcance, o luz de carretera, confiere una distribución de la luz centrada e intensa sin ningún control de deslumbramiento. Por ello, tan sólo son aptas para su uso cuando se circule solo por la carretera, pues es posible deslumbrar a otros conductores, e incluso a uno mismo por causa de la reflexión en señales de tráfico y otros objetos.



Faro delantero de un Audi A4 actual.

La iluminación de los faros debe ser uniforme y con un color que no moleste al resto de conductores y que canse lo menos posible la vista, por ley sólo han estado permitidos blanco y amarillo selectivo, en la actualidad, solo blanco.



En la actualidad existen faros que se direccionan dependiendo del giro del vehículo, de tal forma que apunten algo más a la carretera y algo menos a su tangente.

Para conducir no es necesario disponer de luz en el interior de la cabina, pero algunos mandos, el panel central y otros dispositivos sí deben estar iluminados. El objetivo de la iluminación interior es favorecer la comunicación visual del sistema hombre/máquina y el confort visual, mejorando de esta manera el rendimiento de la persona, la confortabilidad visual y la seguridad. Además, si todo el interior estuviese a oscuras, se perderían los puntos de referencia.

La luz del panel frontal interior debe ser de un color que no canse al conductor. De tal manera que no deslumbre, sino simplemente aporte información en segundo plano. Un color ideal sería el azul oscuro, que esté cerca del violeta en el espectro de luz (longitud de onda de unos 430 nm) para aquella información de fondo y el blanco para la información más necesaria.



Panel frontal iluminado en blanco y azul.

Todos aquellos accionamientos que no sean imprescindibles no deben estar iluminados, para eso está la luz de cortesía una vez el motor está parado. Es bueno tener una referencia en el interior, pero no molestar la conducción con excesivo contraste.

### 9.6.2. TEMPERATURA.

La temperatura en el interior del habitáculo es importante, ya que si el conductor tiene mucho calor, esto le provocará sueño y aumentarán las distracciones, y si tiene demasiado frío, irá incómodo, causándole de la misma manera distracciones.

La temperatura recomendada es diferente en invierno que en verano, entre otras cosas, porque en invierno llevamos siempre más ropa que en verano. En verano, la temperatura

ideal está entre los 23 y los 26°C. Y en invierno, esta temperatura ideal desciende entre 20 y 24°C.

Es aconsejable, en verano, atemperar el coche bajando las ventanillas antes de encender el aire acondicionado. De esta manera no solo baja la temperatura sino que además se ventila el vehículo.

### 9.6.3. VIBRACIONES.

Las vibraciones transmitidas al conductor deben reducirse al máximo para evitar fatiga y mareos en el conductor a corto plazo y enfermedades a largo plazo como puede ser dolor crónico de espalda o trastornos vasculares, musculares, en los huesos, en las articulaciones e incluso trastornos neurológicos.

La reducción de estas vibraciones se consigue mediante el diseño del asiento y la elección de su relleno. La suspensión del asiento, al igual que la del vehículo, puede absorber las irregularidades del terreno, evitando que lleguen al conductor.

También es importante reducir las vibraciones que se transmiten a través del volante o la palanca de cambios a las manos.

### 9.6.4. RUIDO.

Algunos sonidos que vienen de la calle deben poderse oír desde el interior de un vehículo, debido a que sirven para prevenir accidentes, como el sonido del claxon de otro vehículo. El problema viene por un excesivo ruido, que puede provocar fatiga mental e irritación en el carácter del conductor. Por esto es importante aislar el habitáculo de aquellos sonidos graves que parecen un murmullo, y que realmente es el propio ruido de la actividad de la calle. De esta manera, además, los sonidos del motor son más fáciles de escuchar, detectando rápidamente alguna anomalía.





## 10. CONCLUSIONES.

Para cerrar el proyecto voy a exponer qué he podido sacar en claro de él, qué pretendí cuando lo inicié y qué he conseguido y qué no finalmente.

Qué he podido sacar en claro:

- Lo primero es que la ergonomía es una ciencia multidisciplinar que abarca muchos y muy variados campos, no solo dentro de la ingeniería. Cabe destacar la cantidad de **información necesaria del campo de la medicina (anatomía, fisiología, neurología...)** y la psicología.
- He aprendido, que antes de sentarse a empezar cualquier proyecto, hay que pensar y estudiar mucho. Hay que definir realmente bien qué se quiere hacer y cómo se va a llegar hasta ahí. Con este trabajo previo, se ahorra mucho trabajo por el camino.
- He aprendido también varias cosas sobre ergonomía, en qué está basada, cómo se está aplicando, qué implica... He visto el trabajo que hay detrás de cada cambio tecnológico, de cada rediseño, de cada mejora. Y este trabajo es inmenso.
- También he aprendido, que un proyecto multidisciplinar necesita de un equipo que trabaje en él. Una sola persona no podrá sacar los resultados de un equipo en estos casos.
- Con respecto al proyecto en sí, he visto como aquellos coches de gama media-alta, están ergonómicamente mucho mejor equipados que los de gama media o baja. Así pues, entiendo, que la aplicación de la ergonomía, va seguido de un encarecimiento del coche. En muchos casos, este encarecimiento resulta obvio y comprensivo, debido a que la introducción de nuevas tecnologías o similares suben el precio del producto; en otros casos no es tan comprensible, ya que, por ejemplo, una distribución ergonómica de los mandos, no debe ser más cara que otro tipo de distribuciones.
- Con el tiempo, me he dado cuenta, la importancia que tiene para una fábrica de coches, el contar con diferentes modelos de gama. Debido a que casi casi se podría decir que no existen dos personas iguales. De la misma manera, difícilmente un coche diseñado para la mayoría, se acoplará perfectamente a cualquier persona. Así pues, contando con una gran variedad de vehículos, suben mucho las posibilidades de acertar.
- Es muy importante la adaptación del coche al conductor. Es decir, los movimientos **de asiento, volante, espejos... La regulación de estos elementos** debe ser lo más amplia posible. No ya solo por la adquisición del vehículo en el momento inicial, sino también por la adaptación a otros conductores distintos del habitual.

Cuando inicié este proyecto, no esperaba, ni tener que leer ni que escribir tanto, ni mucho menos esperaba que me llevase tantísimo tiempo. Pensé en diseñar, ya que siempre es lo



que más me ha gustado, y sin embargo, es lo que no he hecho en este proyecto que aquí finaliza. He leído mucha documentación y analizado muchos datos, he investigado muchísimo por internet, he comparado y he observado muchos coches, y al final me he quedado con la ganas de diseñar uno por mí mismo. Aunque como he escrito hace un momento, he comprendido, que no es tarea para una persona sola.

Inicié el proyecto con las definiciones que diferentes personas dieron al concepto de *ergonomía*. Ahora para acabar, y tras estudiar y leer sobre el tema, quiero aportar mi propia definición: *La ergonomía es la ciencia multidisciplinar que conduce al mejor diseño posible enfocado en la persona.*

Viendo los objetivos marcados al inicio puedo decir que alguno sí se ha cumplido, pero no todos. El objetivo principal que se pretendía alcanzar con este proyecto, el de ver cómo optimizar la relación vehículo/conductor, espero haberlo logrado con la documentación aportada a lo largo de los capítulos centrales. No he podido demostrar las carencias que aún tienen muchos fabricantes en cuanto a la aplicación de la ergonomía en sus diseños, pero sí cómo afectan al conductor.

El objetivo más ambicioso, que era doble, está conseguido a medias, el de marcar unas pautas básicas de diseño para futuros proyectos sí está conseguido, pero no el de la creación del diseño basado en esas pautas.

Creo que, además, con este proyecto he conseguido crear un compendio de documentación útil, pudiendo servir como documentación complementaria a la hora de abordar algún diseño futuro del interior de un vehículo. Al mismo tiempo, es una recopilación de información que puede ser consultada por toda aquella persona que necesite echar luz a un diseño ergonómico, ya sea una silla o una cuchara.

Como líneas futuras de actuación, quedaría que otro alumno realice su proyecto fin de carrera a partir de este, diseñando alguna parte del habitáculo como pueda ser el asiento, **el panel de mandos, la palanca de cambios...** basándose en lo contado en el capítulo 9, *Pautas para el diseño del puesto de conducción de un automóvil basado en la ergonomía.*



## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Manual de ergonomía / Fundación MAPFRE
- Manual de automóviles / Arias Paz
- Ergonomía básica aplicada a la medicina del trabajo / M. R. Jouvencel
- Ergonomía y psicología de la empresa / Juan Manuel Gutiérrez
- Ergonomía y psicología / Diego González Maestre.
- Ergonomía y diseño del puesto de trabajo / M. H. Miguelez Garrido, V. Díaz López y J. L. San Román García
- Introducción a la ergonomía / Maurice de Montmollin
- Sensación y percepción / E. Bruce Goldstein.
- Ergonomía, evaluación y diseño del entorno visual / Julio Lillo Jover
- Biomecánica básica del sistema musculoesquelético / Margareta Nordin y Victor H. Frankel
- Color, contraste y diseño ergonómico: Temperatura relacionada con el color / J. Lillo, J. Colado, R. del Valle y P. Sánchez
- Ergonomía 2. Confort y estrés térmico / P. R. Mondelo, E. Gregori, S. Comas y E. Castejón
- El confort visual en la vida diaria / J. Pinta
- International data on anthropometry / Hans W. Jürgens, Ivar A. Aune y Ursula Pieper
- Impact biomechanics / SAE International
- Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial / Antonio Carmona Benjumea, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (INSHT)
- Antropometría / Telésforo de Aranzadi
- Tratado completo de antropometría / A. Fernández y S. García
- Biomecánica funcional: Cabeza, tronco, extremidades. / M. Dufour y M. Pillu
- Atlas de anatomía humana / Frank H. Netter
- Fisiología articular Tomo 1 Miembro superior / A. I. Kapandji
- Fisiología articular Tomo 2 Miembro inferior / A. I. Kapandji
- Fisiología articular Tomo 3 Tronco y raquis / A. I. Kapandji
- Factores humanos en ingeniería y diseño / Ernest Mc. Cormick
- Norma UNE EN ISO 7250:1998
- Norma UNE EN ISO 6682:2008 / Maquinaria para movimiento de tierras. Zonas de comodidad y de accesibilidad a los mandos
- Norma ISO 7250:1999
- Norma UNE 26-192-87
- Norma UNE EN 547-1:1997



- Norma UNE EN 547-2:1997
- Norma UNE EN 547-3:1997
- Norma UNE EN ISO 9241-5:1999
- NTP85 139: El trabajo con pantallas de visualización
- NTP 226: Mandos: ergonomía de diseño y accesibilidad
- NTP 455: Trabajo a turnos y nocturno: aspectos organizativos.
- NTP 502: Trabajo a turnos: criterios para su análisis.
- NTP 602: El diseño ergonómico del puesto de trabajo con pantallas de visualización: el equipo de trabajo
- Factores humanos – Ergonomía del puesto de trabajo: Una aplicación en el ámbito del transporte / Isabel García Alvir (PFC UC3M)
- Estudio para las mejoras de las condiciones de seguridad y ergonomía del puesto de conducción de autocares. / Agrupación de interés económico centro superior de investigación del automóvil y de la seguridad vial, con la colaboración del instituto universitario de investigación del automóvil (INSIA-UPM)
- <http://www.wikipedia.org>
- [http://www.dgt.es/portal/es/seguridad\\_vial/estadistica/](http://www.dgt.es/portal/es/seguridad_vial/estadistica/)
- <http://www.medicosporlaseguridadvial.com>
- <http://www.auto10.com>
- <http://ww2.autoscout24.es/>
- <http://www.km77.com/>
- [www.webusable.com](http://www.webusable.com)



